

슬러지 농도계의 연구개발 동향

이도형*, 양승철**, 전재연**

1. 서론

현대과학의 발전과 더불어, 기계설비의 자동화를 위한 모니터링, 제어 및 계측장비 개발은 눈부신 발전을 거듭하여, 그 파급 영역은 환경산업기술에까지 이르게 되었다. 이러한 영향에 힘입어, 우리나라의 환경산업은 매년 약 15%의 성장을 거듭하면서 차세대 유망 수출산업으로 국가적 기대를 모으고 있다. 수질, 대기, 폐기물, 소음·진동 등 다양한 환경산업의 분야 중에서도 특히 물과 관련된 분야는 전체의 60% 이상의 비중을 차지하며 핵심을 이루는 전통적인 분야로 자리 잡고 있다. 대부분의 환경 관련 기업이 수처리와 관련된 사업으로부터 시작하여 현재에 이르고 있다고 해도 과언이 아니다. 현재 물 환경 산업의 시장 동향을 살펴보면 국제 물 환경학회(IWA) 내에서 1965년부터 활동하고 있는 수처리 시설의 자동제어와 관련된 전문가 그룹(ICA SG)은 「2025년의 도시 물 관리 시스템 (urban watermanagement system)에 대한 전망」을 통해 향후의 물 관련 사업이 현재의 상하수도, 오폐수처리, 중수도 및 재사용, 수자원 및 수질관리 등 다양한 물 관련 분야가 모두 통합되어 단일한 체계를 갖는 '물 산업 (water industry)'으로 발전할 것이라고 예측했다. 이러한 예측에도 불구하고 아직까지는 수처리와 관련한 여러 가지 문제점들이 발생하고 있다. 효율적인 수처리를 통한 수질 환경 개선뿐만 아니라 안정적인 수자원의 확보 및 관리, 신뢰감을 주는 먹는 물의 공급, 이용 효율의 증대 등 당면한 과제는 세계 어느 나라나 관심을 기울이는 중요한 문제이다.

이렇게 수처리 관련 환경사업의 성장과 더불어 환

경개선이 세계적인 문제로 대두되는 가운데 총체적인 폐수, 하수의 오염을 줄일 수 있는 농도계의 개발은 수질 정화에 있어서 매우 핵심적인 부분이라고 할 수 있다. 농도계의 개발은 수처리 과정에서 정확한 슬러지 농도 측정에 의해 잉여의 화학적 처리를 사전에 예방할 수 있다. 또한 배출된 오염물질의 농도 측정을 통해 오염 물질의 정확한 총량 측정도 가능하며 오염 물질의 실질 유해정도 (유량×농도)를 고려한 관리 시스템의 구축이 가능해진다. 하지만 현재 시판되고 있는 농도계에는 측정의 한계가 있기 때문에 이에 따른 여러 가지 문제가 나타난다. 특히 슬러지에 의해 센서부에서 이물질이 많이 발생하게 되면 정확도 측면에서 문제가 많이 발생한다. 실제 산업 현장에서는 이러한 슬러지에 의한 오차를 줄이기 위하여 초음파 농도계를 사용하는데 그 사용도는 전체 계측 제어 농도계 중 60% 이상을 차지한다. 하지만 초음파 농도계도 슬러지에 의한 문제는 있고 이것을 해결하기 위해 Micro wave 농도계가 개발되었으나 아직 검증이 되지 않은 상태이다. 이들 문제점의 해결을 위해서는 공학적 연구가 수반되어야 한다. 본 특집기사에서는 이러한 농도계의 종류와 국내·외 업계의 시장 규모 및 기술개발 동향과 농도계의 종류에 대하여 소개하고자 한다.

2. 농도계의 종류

2.1. 측정 대상에 따른 분류

Table 1은 농도계를 측정 대상에 따라 분류한 것이다. 사진, 산소, 알코올, 두유, 유분 농도계의 특징을 보여주고 있다. 본문에서는 일반농도계에서 대표적으로 상하수도 분야의 산업현장에서 많이 쓰이는 유분농도계에 대하여 간단히 소개하고자 한다.

* 한양대학교 기계공학부 교수

** 한양대학교 기계공학부

E-mail : dohyung@hanyang.ac.kr

Table 1 측정대상에 따른 분류

구분	특징
사진 농도계	빛의 투과 정도를 측정하여 필름의 농도를 측정
산소 농도계	매질 속의 산소의 농도를 측정
알코올 농도계	이소프로필, 에틸 알코올의 농도를 측정
두유 농도계	두유의 대두 고형분의 %를 측정
유분 농도계	물 또는 해수중의 유분 농도를 측정

유분 농도계는 물 또는 해수 중의 유분 농도 및 섬유나 금속과 같은 고체표면의 잔류 유분과 토양 중의 유분을 측정하는 농도계이다. 정밀기계·반도체 분야의 세정 장치의 탈지능력(脫脂能力)평가, 기계가공유·연마제의 잔류유분 평가, SS나 부유물(浮遊物)이 혼입된 배출수의 측정에 최적이다. 용매추출·적외선 흡수법에 의한 빠른 측정이 가능하며 탈착 방식의 셀을 채용하여 시료의 주입이 용이한 장점이 있다. 또한 용도에 맞게 mg/L, mg/kg, Abs 3종류의 측정 단위를 선택 가능하다.

2.2. 측정 방법에 따른 분류

측정 방법에 따라 농도계를 분류하면 크게 마이크로파, 광(光), 초음파 측정방식으로 분류할 수 있다.

2.2.1. 마이크로파, 광(光) 초음파의 범위

Micro파와 광(光)은 동일한 전자파이며 초음파는 음파의 일종이므로 물리적으로 완전히 다른 성질을 갖고 있다. 전자파는 진공 중에서도 전달되며, 진공 또는 공기 중에서 전달되는 속도는 1초에 30만 Km, 수중에서도 약 3.3만 Km의 빠른 속도를 가지지만, 음파는 압력파로서 진공에서는 전달되지 않고, 공기 중에서의 전달속도는 약 340 m정도, 수중에서는 1초에 150 m 정도이다. 전자파를 크게 구분하면, 전파, 광(光), X선, Gamma선 등이 있으며, 주파수 범위는 Fig. 1과 같다.

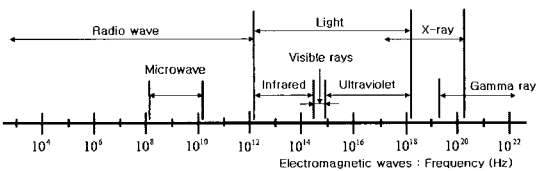


Fig. 1 Electromagnetic waves

Table 2 측정 방법에 따른 분류

구분	측정원리	기포의 영향	
근적외광식 농도계	근적외광 산란방식	영향(소)	
레이저식 농도계	레이저광 산란방식	영향(소)	
초음파 감쇠식 농도계	비소포식	초음파 감쇠법	영향(대)
	가압소포식	초음파 감쇠법	영향(소)
마이크로파식 농도계	반사강도식	반사파의 강도감쇠법	영향(중)
	위상차방식	투과파의 위상차	영향(대)

Table 2는 농도계를 마이크로파, 광(光), 초음파의 측정방식으로 분류한 것이다.

2.2.2. 광학식 농도계

광학식은 물 또는 액중에서 현탄(분산)되어 있는 물질에 따라 광이 산란되어 투과광이 감쇠되고 산란광이 증가하는 것을 이용하여 농도측정을 실시한다. 즉, 현탁 물질의 농도가 높아지면, 투과광의 감쇠가 커지면서 산란광이 증가하므로, 이들 감쇠율, 증가율, 또는 두 항목을 함께 측정하는 원리에 기초를 두고 있다. 광학식 농도계에는 근적외선의 반사를 이용한 근적외광식 농도계가 있으며 레이저 광원으로부터의 광속을 검수 중의 탁질에 투사해 반사·산란한 빛과 광속과 직각 방향의 포토 셀로 검출하는 측방 산란 방식의 레이저식 농도계가 있다.

2.2.3. 마이크로파 농도계

마이크로파 농도계는 마이크로파의 원리를 이용한 위상차 측정방식에 의하여, 배관 내부에 흐르는 유체의 고형분 농도를 연속적으로 측정하는 계기이다. 여기서 마이크로파와 위상의 개념에 대해서 살펴보면 마이크로파는 전파의 일종으로서 주파수가 300 MHz ~ 30 Hz (파장 1 cm ~ 1 m)의 전파이며 초극단파라고 부르기도 한다. 통신 레이더 및 가정에서 사용하는 전자렌지, 최근에는 휴대폰 등에 사용되고 있고 본 농도계에서 사용하는 마이크로파의 강도는 전자렌지의 약 100만분의 1정도이다. 위상은 주기적으로 변화하는

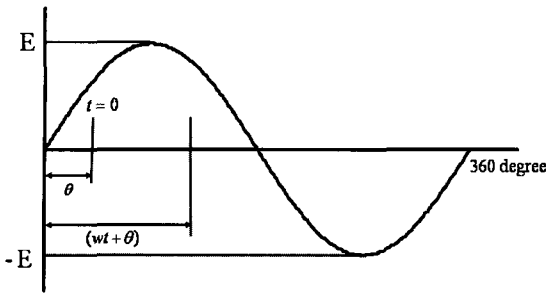


Fig. 2 정현파 $Y=E\sin(\omega t+\theta)$

파형에 어떤 임의의 기점에 대하여 상대적인 위치를 나타내는 것이다. 통상 1 Cycle을 360° 로 각도 표시하고 있다. Fig. 2는 정현파 $Y=E\sin(\omega t+\theta)$ 에서 $(\omega t+\theta)$ 가 위상으로서 $t=0$ 시점의 위상 θ 를 나타낸다.

마이크로파 방식은 물 또는 액중에 어떠한 물질이 현탁 또는 용해되면, 그 물질을 포함한 액체의 전기적 특성 (유전율과 전도율)이 변화하므로 아무 것도 포함되지 않은 액과 비교하여, 마이크로파의 속도가 조금씩 늦어진다. 그러한 속도변화를 위상의 변화형식으로 농도측정을 실시하고 액중에 포함된 물질의 농도가 높으면, 위상변화가 커지는 원리에 기초하고 있다. 이와 같은 측정방식은 유속의 영향을 받지 않으며, 유체 내 오염물질에 의한 영향을 거의 받지 않으므로 안정한 측정을 할 수 있다. 게다가 마이크로파 농도계는 기계적인 가동부가 없으므로 높은 신뢰성과 보수성을 가지며 마이크로파 농도계의 출력은 저농도에서 고농도까지 광범위한 농도범위에서 운전이 가능하다. 또한 유체의 유동방향과 상관없이 수직배관, 수평배관이 가능하여 설치위치 선정이 용이하다.

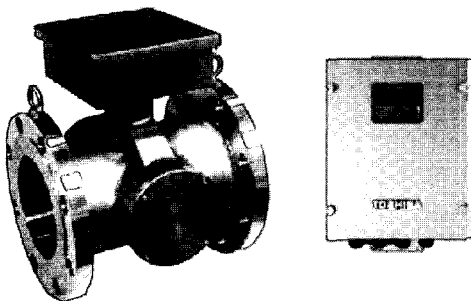


Fig. 3 Micro wave densitometer(TOSHIBA)

2.2.4. 초음파 Double Beam 농도계

초음파 농도계는 물 또는 액중에서 현탁 (분산)되어 있는 물질에 따라 초음파가 산란되어 감쇠하는 것을 이용하여 농도 측정을 실시한다. 즉, 현탁 물질의 농도가 높아지면, 초음파의 감쇠가 커지는 원리를 기초로 하고 있고, 따라서 액중에 용해되어 있는 물질의 농도측정은 불가능하다.

초음파 Double Beam 농도계는 Fig. 3과 같이 단관에 초음파 센서를 삽입시켜 각각의 송신자에서 발사된 초음파가 유체에서 감쇠되어 수신자에 전달되며 초음파의 감쇠량의 정도를 연산해서 슬러지 농도로 측정하는 방법이다.

기존의 일반적인 초음파 농도계는 Single Beam (1회선)방사의 측정 방식을 가지고 있는데 이것은 매우 느린 유속에서 발생하는 고형분의 침강, 부상 등의 이유로 농도 분포가 불일정한 상태이거나, 혐기성 상태에서 발생한 기포가 센서 자체에 직접적으로 부착되면 많은 오차가 발생 할 수 있다. 이를 보완하기 위해 Double Beam (2회선) 방사 방식이 개발 되어 기존의 Single Beam (1회선) 방사보다 안정적이고 정확한 측정값을 얻게 되었으나 수신부와 송신부가 관의 지름 길이에 해당하는 위치에만 부착되어 있어 관로 크기에 대한 설계적인 한계가 발생할 수 있다. 게다가 센서부에 직접적으로 부착된 기포제거와 센서주변의 슬러지 침착에 대한 세척 문제의 해결 방법은 제시되지 않았다. 그러므로 초음파 농도계에서 발생하는 센서부 내의 세척문제 해결과 Double Beam (2회선) 방사 방식의 수신부와 송신부의 위치 및 개수의 최적화를 통하여 보다 정확한 농도 측정값을 얻으면 그로 인해 여러 분

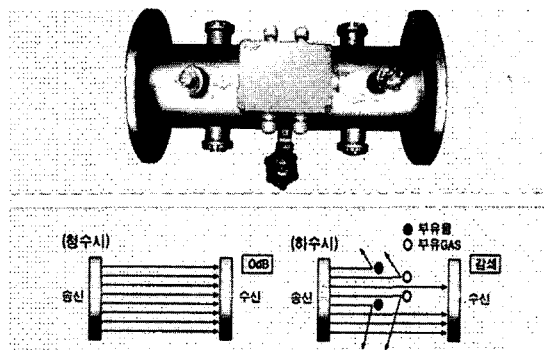


Fig. 4 초음파 Double Beam 농도계

야에 고가의 수입 장비에 의존했던 부분을 국내 기술로 대체할 수 있다.

3. 국내외 관련 기술 동향

3.1. 일반 농도계의 기술 수준 및 동향

초음파 농도계를 제외한 일반 농도계의 국내기술 현황을 보게 되면 농도계 관련 핵심 부품을 대부분 외국에서 수입하여 판매하는 실정이며 법적 절차 (수질 오염 공정시험 방법 총칙 25조)의 미비로 인해 수질 측정기구 사용의 혼선이 존재하고 있다. 2001년부터 환경부의 차세대 핵심 환경기술 개발 사업에서는 환경분야의 측정분석 분야를 별도로 분리하여 집중적으로 연구개발을 촉진하고 있는 상황이다. (주)정엔지니어링에서 센서를 세척하는 기능을 갖는 슬러리 농도 측정 장치에 관련 농도계의 특허를 가지고 있으며 휴마스사에서 빛의 임계각을 이용하여 농도를 측정하는 굴절율식 농도계에 관한 특허권을 가지고 있다.

국외에서는 미국, 일본, 독일 등 환경선진국이 농도계의 핵심 기술과 80%의 높은 시장 점유율을 보이고 있으며 기존의 환경측정기기 산업의 전반적인 교체 작업을 준비하고 있다. 도시바에서는 마이크로파의 위상차를 이용한 마이크로파 농도계, ADC AFAB Enterprise사에서는 굴절율에 따라 농도를 환산하는 In-line Process Refractometer에 관한 특허를 보유하고 있다. 아시아권에서는 중국 및 동남아 국가도 연 10~15% 이상의 환경측정 장비의 투자를 하고 있으며 특히 중국은 15% 이상의 고도성장이 전망된다.

3.2. 초음파 농도계의 기술 수준 및 동향

국내에서는 주로 하나의 초음파 발전부에서 측정된 초음파의 감쇠 정도를 가지고 관로내의 전체 농도를 파악하는 Single Beam (1회선) 방식의 초음파 농도계를 사용하고 있으나 측정 정확성의 낮은 단점을 가지고 있다. 따라서 Multi Beam (다회선 방식)으로의 전환이 이루어지고 있으나 세부적으로 정확한 기술 정보가 미흡한 실정이다. 게다가 국내에서 독자적으로 개발된 제품의 종류가 적으며, 독자적으로 개발된 제품일지라도 신뢰성이나 정확성이 수입품에 비하여 많이 떨어지는 수준이다. 하지만 Multi Beam으로

의 전환이 꾸준히 진행되고 있는 가운데 CK Techpia에서는 Double Beam 방식을 사용하여 측정의 정확도를 향상시킬 수 있는 방안을 연구하고 있다. 한편 WESS measurment사의 다회선 방식의 에너지 평균을 이용한 EEAM (Energy Envelop Average Method) 기술과 1개의 송신 센서와 3개의 수신 센서를 이용하여 측정의 신뢰성을 향상시킴으로서 농도 변화에 대응이 용이한 STMRT (Single Transmission Multi Reception Technology) 기술을 보유하고 있다. 그 밖에도 음파량에 따른 계수를 측정하여 슬러지의 농도를 계측하는 기술, 송신 후 수신여부 및 수신 시간에 따라 이상 유무를 판단하여 농도를 측정하는 기술 또한 보유하고 있다.

미국, 일본 등의 국외에서는 센서 기술의 발달로 인한 정밀한 측정과 안정성을 높이는 기술과 초음파 압력의 전달속도와 용기표면 및 주위 온도를 이용하여 계측을 하는 기술을 보유하고 있다.

4. 국내외 시장규모

4.1. 국내 시장의 규모

농도계 시장은 환경 산업에 크게 영향을 받으며 특히 환경 산업 중에서도 수처리 관련 산업 시장의 성장에 따라 같이 성장하고 있다. 우리나라의 현재 환경시장의 규모는 환경부와 통계청이 실시한 '2004년 기준 환경 산업통계 조사 결과'에 따르면 환경 산업체들의 총 매출액은 21조 5,000억 원으로, 이는 국내 총생산량(GDP)의 2.75%를 차지하는 것으로 조사되었고, 앞으로 2010년까지 35조원 이상으로 확대될 것으로 예상되고 있다. 매출액의 구성을 살펴보면 '재생/재활용'분야가 25.9%로 가장 큰 비중을 차지하였으며, '폐수처리' (23.2%), '물 공급' (18.1%), '폐기물 관리' (17.6%), '대기 오염 제어' (10.0%)의 순이다. 위의 환경 산업 매출액 구성에서 볼 수 있듯이 수처리와 관련된 분야가 40.0% 이상으로 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 환경부 자료에 따르면 이런 수처리 산업 분야들 중에서도 농도계와 직접적으로 연관이 있는 하수처리 시설은 2020년까지 약 17조, 각종 폐수 및 분뇨처리 시설은 2008년까지 약 6800여억 원의 투자가 계획되어 있다. 여기에 상수도 관련 사업에서도 노후수도관 개량 분야에 1997년부터 2011년까지 3조 8,319억 원, 고도 정수처리시설 설치 분야에

2007년까지 4,900억여원의 투자가 진행 중이거나 계획되어 있다. 이와 같은 수처리 산업의 발달은 초음파 농도계 시장의 성장을 나타내주고 있고 앞으로도 시장의 규모는 확대되어 나갈 것이라고 할 수 있다.

4.2. 국외 시장의 규모

급속히 성장하는 세계 환경 시장 분야 중에서 수처리 분야의 시장규모는 2010년에 2,512억 달러 규모로 추정되고 있는데, 그 중에서 선진국의 시장규모가 약 2,040억 달러로 점유율이 81.2%로 감소한 반면, 개도국은 약 472억 달러로 점유율이 18.8%로 높아질 것으로 예측되었다. 한편 상하수도의 신규투자수요 분야는 주로 중국, 동남아시아, 중동유럽, 중남미 국가들에서 발생하여 향후 10년간 상하수도 설치사업에 약 5,700~7,700억 달러의 투자수요가 발생될 것으로 전망된다. 선진국의 경우, 미국은 상수도망, 서유럽은 설비개선·누수감지·3차 처리 등의 수요가 발생하여 총 3,000~4,500억 달러 규모의 투자가 이루어질 전망이다.

또한 미국의 조사기관인 FROST & SULLIVAN에서 전망한 수처리 관련 분석기 및 시스템의 시장 규모는 2005년에 400~500억 달러이고 수처리 사업과 같은 성장률을 가지고 발전을 한다면 2010년에는 약 1000억 달러 수준이 될 것이라고 전망하고 있다. 위의 분석 결과에 따르면 수처리 관련 분야에서의 세계 시장의 규모는 우리나라의 약 100배에 이른다. 이는 곧 수처리 과정의 핵심 부품인 초음파 농도계의 시장 규모 역시도 그러하다는 것을 보여주고 있다.

게다가 수처리 시장 주요 성장 국가들이 선진국이 아닌 개발도상국들이므로 우리나라도 지금부터 투자와 연구 개발에 박차를 가한다면 충분한 시장 경쟁력을 가질 수 있을 것이다. 이와 더불어 초음파 농도계의 시장은 펄프/제지, 식품, 시멘트, 소석회, 세라믹 등의 세계 시장 확대에 맞추어 수처리 사업 분야의 시장 규모를 뛰어 넘어 성장해 나갈 것이다.

5. 결론

지금까지 일반 농도계의 종류와 초음파 농도계, 그리고 국내외 농도계의 시장규모 및 연구개발 동향을 살펴보았다. 매년 성장하는 수처리 분야 환경산업 측면에서 폐기물 및 하수처리에 따른 농도계의 개발은 새로운 환경에 대응해야하며 산업적 가치 창출을 확보해야하는 필연적 문제로 판단된다. 따라서 매년 15%씩 성장해가는 시장규모에 맞춰 장기적인 연구가 진행되어야 한다. 게다가 내년부터 환경부에서 실시하는물관리 종합대책의 일환으로 수질개선을 위해 ‘수질오염 총량제’가 도입될 전망이다. 국가적인 과제인 만큼 추후에도 이와 관련된 과제들이 계속될 것이며, 수처리 관련 환경사업의 성장과 더불어 폐수, 하수의 총체적인 오염정도를 줄일 수 있는 농도계의 활용도가 커질 것으로 전망된다. 하지만 국내외의 연구개발 동향을 살펴봤듯이 미국, 일본 및 유럽에서는 이에 대한 연구가 체계적으로 진행되고 있음에도 불구하고 국내에서의 연구는 아직 미비한 실정이므로 이에 대한 대비가 필요시 된다.

참고문헌

- (1) 환경부, 2004, “2003년말 기준 하수처리장 운영현황.”
- (2) 환경부, 2004, “2003년 하수처리시설 기술진단 사례집.”
- (3) 환경부, (주)환경비전 21, 2002, “소규모 마을단위 하수고도처리 자동화 기술 개발.”
- (4) 김영수, 2000, “Automation of sewage treatment facilities by DCS.”
- (5) 황호재, 2003, “환경기초 시설 자동화와 전문가 시스템, News & Information for Chemical Engineering,” Vol. 21, No. 5.
- (6) Marinus K Nielsen, IWA 1. ICA

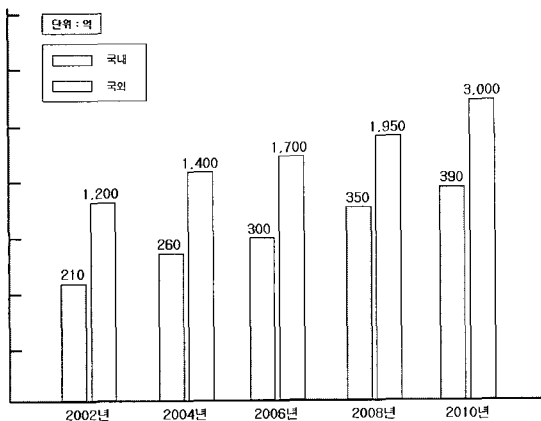


Fig. 5 국내외 초음파 농도계 시장 현황

- Conference MALMO 2001, "Instrumentation of Control and Automation Scientificand Technical Report Part 3, Control Of Wastewater Systems in Practice."
- (7) 김유종·송윤섭, 2005, "하수처리장 계측제어 설비 운영관리 방안에 대한 고찰."
- (8) 한국환경정책·평가연구원(KEI), 2000, "대규모 하수종말 처리시설의 자동화 설비 확대방안 연구."
- (9) 윤영한·지재성·박재로·권 혁·이태운, 2005, "통합제어 시스템을 이용한 하수처리장의 효율 향상 방안 및 최적관리 방안 연구," 대한 환경 공학회 춘계 학술 연구발표회.
- (10) 최창호, 이기수, 김진한, 양수석, 2001, "액체 로켓 인듀서의 수치해석을 통한 성능예측," 대한기계학회 춘계 학술대회, pp. 1555~1560.
- (11) 노성운, (주)한국후로셀, 2004, "최신 펄드 계측기술."
- (12) 유미선, 카오스 응용연구소, 2002, "2002년도 수질 분석용 센서의 개발 및 그 전망."
- (13) 월간 자동화 기술, 2000, 공업분석 기본 시리즈 "제 5회 초음파 농도계, 마이크로파 농도계, 석유 유허계."
- (14) 최종수·김형복, 2003, "하수처리시설 건설 및 유지관리비용 산출방안," 대한환경공학회지, 25 권, 1호, pp. 33~37.