

탁도 변화에 따른 검출기의 광원특성에 관한 실험적 고찰

김영도* · 이계복**

The Experimental Study on Optical Characteristics of a Detector by Turbidity Variance

Young-Do Kim*, Kye-Bock Lee**

Keywords : Turbidity(탁도), Light Source(광원), Turbidimeter(탁도계), Photo-Detector(광검출기), Frequency Counter(주파수 계수기)

ABSTRACT

In this study, we have performed some experimental works on the effects of variation of low, middle and high turbidity for understanding of optical characteristics which is very important factor for the turbidity measurement. The various output frequencies were obtained by the experimental apparatus which consist of detectors, a light source, a frequency counter and so on. From the result of analysis of these frequencies, Firstly, The difference of signal value for each degrees of low turbidity was the smallest of three scopes around the Nephelometric position. Second, the characteristics of each degrees of middle turbidity was proved that signal values of all degrees were larger those of low turbidity but the difference of each signal value of the forward direction was smaller than that of the backward direction. Third, the characteristics of each degrees of high turbidity was proved that though similar to the characteristics of middle turbidity, each signal value of all degrees was larger and the difference of each signal value of all degrees was smaller than those of low and middle turbidity

용어설명

NTU : 네펠로메트릭 탁도단위
(Nephelometric Turbidity Unit)
EPA : 미국 환경보호청
(Environmental Protection Agency)

1. 서론

상수도에 있어서 원수의 탁도는 응집처리나 여과지의 운영·조작 등에 크게 영향을 미치며 정수 및 수도물의 탁도는 정수처리과정의 효율과 배·급수시설이나 수도관의 이상현상을 나타내는 중요한 지표가 된다. 탁도로 나타나는 미세한 현탁 부유입자들은 대개가 무해하고 감각적인 측면에서 문제가 되지만, 유해한 물질들이 입자 자체로 존재하거나 다른 현탁 입자에 흡착된 상태로 존재할 수 있다. 이와 같이 탁도는 정수

* 회원, 충북대학교 대학원 기계공학부

** 책임저자, 충북대학교 기계공학부

E-mail : KbLee@Chungbuk.ac.kr

와 수돗물 그리고 기타 음용수 수질의 평가 및 관리에 매우 중요한 의미를 지닌다. 따라서 탁도는 수질관리에 있어서 필수적인 항목이 됨으로 보다 정밀하고 합리적이면서도 통일된 방법으로 측정하여야 한다. 실제 정수장에서는 탁도를 측정함으로써 침전지, 여과지 등의 시설 및 운전에 대한 효율을 파악하고, 정수와 수돗물의 수질을 유지·관리하기 위한 지표로서 사용하고 있다. 현재 우리나라의 탁도에 관한 법 규제가 엄격화되어 공정관리에 있어 1.0 NTU 이하의 저농도 탁도를 유지해야 하므로⁽¹⁾ 저탁도 제어 기술이 필수적이며^{(2)~(6)} 이를 위하여 신뢰성 있는 연속측정기가 필요하다. 그러나 국내에는 이러한 수준까지 실시간으로 측정하여 공정제어 또는 모니터링을 할 수 있는 기술이 부족하여 정수장 및 산업체에서 운영되고 있는 대다수의 자동수질 측정 탁도계는 미국과 일본 등에서 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 탁도계의 국산화를 위한 기술 축적을 위해 탁도의 크기에 따라 산란되는 빛의 산란특성을 실험을 통하여 확인함으로써 탁도계 개발 시 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 탁도 측정이론

2.1. 빛의 산란 이론

탁도는 빛이 액체내부의(일반적인 물) 부유 물질과 상호 반응함으로 인해 발생한 광학적인 특성이다⁽⁷⁾. 빛은 실트, 점토, 조류, 유기체와 같은 부유 입자 그리고 미생물 샘플을 통과하여 지나갈 때 흡수되거나 산란하게 되는데 이때 산란 빛의 정도가 탁도이다. 이러한 산란 정도는 수질을 평가하는 가장 간단한 지표이다. 탁도는 빛의 산란정도에 비례하여 나타난다. 빛의 산란과 탁도사이의 관계를 관련시키기 위하여, 입사 빛의 오른쪽으로 산란된 빛을 측정한다⁽⁸⁾. 이러한 측정방법을 “넵셀로메트릭”이라 하며 단위는 NTU를 사용한다. 0.1~40 NTU 사이에서는 산란 빛과 탁도 사이에는 선형성을 나타내지만, 0.1 NTU 이하에서는 산란 빛과 탁도 사이에 비 선형성이 나타나는데 이는 샘플 셀에서 발생하는 산란광의 불규칙성 때문이다.

2.2. 탁도계의 측정원리

탁도측정의 기준방법^(9,10)에 의하면 “탁도는 샘플을

(표준법, 1995) 통하여 직선으로 전달되는 빛보다 산란되거나 흡수되는 빛에 의해 발생하는 광학 특성에 대한 표현”으로 명시되어 있다. 이 규정에는 탁도 측정에 사용되는 여러 종류의 탁도계와 탁도 측정과 디자인에 대한 물리적인 특성이 자세히 나와 있다.

현재의 탁도계들은 Fig. 1과 같이 유체의 샘플에 존재하는 입자에 의한 데이터 빛 중 오른쪽 각으로 산란한 빛의 양을 측정하는 넵셀로메트릭(Nephelometric) 방법을 측정 원리로 이용하고 있지만, 탁도계 제조업체들은 몇몇 다른 디자인과 측정 방법을 개발하였다

- L1 : Light beam striking the sample
- L2 : Light beam passing through the sample
- P : Sample
- St : Scattered light
- G, G1 : Peripheral rays of the scattered light beam used for measurement

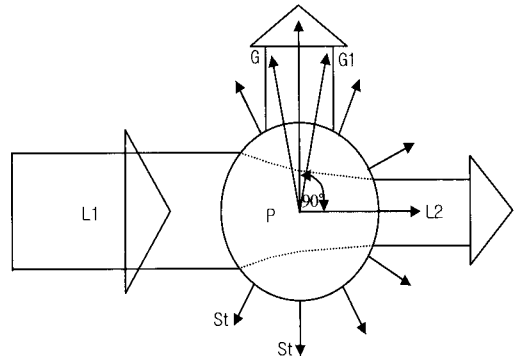


Fig. 1 Measurement principle for turbidity measurement

또한 탁도측정 방법을 표준화하기 위한 연구가 다양하게 수행되었으나, 그 가운데서 하나의 광원을 이용한 설계, 네 개의 광원을 이용한 설계, 표면 산란을 이용한 설계, 광원의 투과를 이용한 설계 등이 많이 이용되고 있다. 그러나 하나의 광원을 이용한 디자인, 비례형 디자인 그리고 네 개의 광원을 이용한 디자인만이 EPA에 의해 승인 받았으며 그 중 본 연구에 선택된 방법은 하나의 광원을 이용한 방법이다

3. 광원특성 실험

3.1. 실험장치구성

광원의 위치와 탁도에 따른 산란특성을 알아보기

위해 자체 제작한 광원특성 실험기기는 시료의 광산란 현상과 검출기로의 원치 않는 빛의 유입 또는 산란으로 인한 실험의 오차를 최대한으로 줄일 수 있도록 두 개의 검출기와 하나의 광원으로 구성되어 있다. 또, 각각의 검출기는 원판의 중앙을 중심으로 이동이 가능토록 설계하였다. 두 개의 검출기 중 하나는 광원과 중심 사이의 거리가 50 mm가 되도록 고정하였으며, 다른 하나는 광원의 중심으로부터의 거리를 25~45 mm까지 움직일 수 있도록 설계하였다. 이를 바탕으로 실험에 필요한 실험기기를 제작하였다. Fig. 2에는 본 연구를 위해 제작한 실험장치를 나타내고 있다.

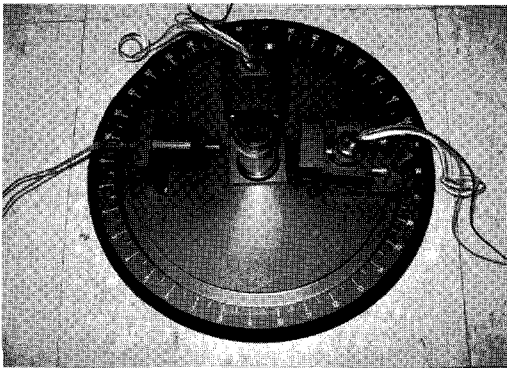


Fig. 2 Experimental apparatus for optical characteristics

3.1.1 검출기

검출기는 텍사스사의 TSL230(공급전원, VDD : 6.5 V ± 0.3, 대기온도 : -25~70°C) 포토다이오드 센서 두 개를 사용했으며 움직이는 것을 방지하기 위하여 몰딩 처리하여 고정시켰다. TSL230은 노이즈의 영향을 받지 않도록 일반적인 포토다이오드와는 달리 출력이 주파수로 나오는 것이 특징이다. Fig. 3은 TSL230 포토다이오드의 블록 다이어그램이다.

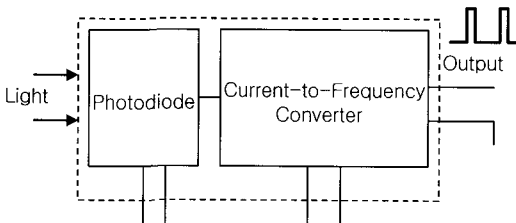


Fig. 3 Block diagram of detector

3.1.2 광원

본 연구에서 제작한 광원 특성 실험기기에 사용한 광원은 LED Type의 AUK사 제품 SR5312-V를 사용하였다. 기존의 텅스텐 램프 파장 범위는 400~600 nm 사이의 광범위한 파장 범위를 가지나, 광원의 안정성이 부족하기 때문에 비교적 안정성을 가지고 있는 특징이 있다. 이것은 무색이며 투명하고 직경 5 mm의 플라스틱으로 몰딩 된 타입으로 파장은 660 nm로서, 시료와 간섭현상을 일으키지 않는 광 스펙트럼을 갖는 광원으로 가장 널리 알려져 있다

3.2. 광원특성에 미치는 인자

3.2.1 간섭현상

모든 샘플에서 빛의 산란은 시료 내 입자의 흡수, 굴절률, 크기, 모양, 방향 등에 의해 영향을 받는다. 이러한 간섭은 샘플을 통과하여 전달된 빛의 파장이 어느 정도가 흡수되거나 산란되느냐에 의해서 결정되며, 일반적으로 입사 빛을 흡수하는 입자를 포함한 샘플은 감지 시스템에 도달하는 빛의 상당 부분을 방해하게 되어 실제보다 낮은 탁도 값을 나타낸다.

3.2.2 색상간섭

색상(백금-코발트 색상 단위)은 정수장 공급수 시료의 탁도 측정에 거의 영향을 주지 않으며, 1.0 NTU 이하의 탁도에서는 백금-코발트 색상단위의 색상은 간섭현상을 초래하지 않는다. 그러나 1.0 NTU 이상에서는 낮은 색상인 경우에도 측정결과에 크게 영향을 준다. 이를 배제하려면 대체 조사광 시스템을 사용할 수 있다.

3.2.3 떠돌이 빛

떠돌이 빛(stray light)이란 시료에 의해 산란된 빛이 아닌 다른 빛들이 네펠로메트릭 위치의 검출기에 도달하는 것으로 정의할 수 있다. 떠돌이 빛은 측정값을 증가시키는 원인이다. 떠돌이 빛의 발생원으로는 샘플 셀(sample cell)의 부적합 또는 긁힘, 광학구조의 내부반사, 광학구조 또는 샘플 셀은 챔버 내의 먼지 오염 등이 있다. 떠돌이 빛은 실험기기를 항상 청결하게 보관하거나, 양질의 샘플 셀을 사용하여 감소시킬 수 있다. 실험기기 구조 자체에 의한 것도 떠돌이 빛에 영향을 줄 수 있다.

3.3. 광원특성 실험 및 분석

실험은 광원특성 실험기에 주파수 카운터를 연결하여 수행하였으며, 주파수 카운터로 읽어낸 데이터는 바로 컴퓨터에 저장하여 처리하였다. 실험은 광원, 검출기, 주파수에 대하여 실시하였으며, 실험에 대한 시스템 구성도는 Fig. 4와 같다.

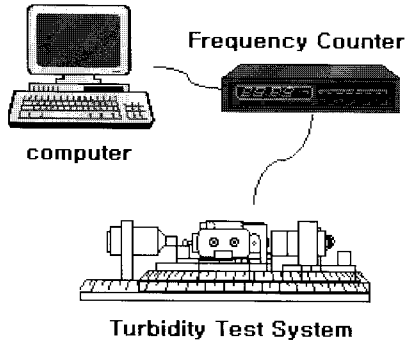


Fig. 4 Layout of experimental apparatus

또한, 실험에 사용한 표준물질은 포마진(Fomazine)을 초 순수물질로 희석하여 제조하였으며⁽¹¹⁾, 제조된 표준물질은 미리 보정된 탁도계를 이용하여 탁도를 측정하였다. 자체 제작한 실험기기의 구조상 실험은 500~310°사이에서 실행되었다. 실험은 먼저 시료가 없는 조건에서 광원으로부터 나오는 빛이 산란되는 방위별 특성을 조사하였으며 표준 시료를 저탁도, 중탁도, 고탁도의 3가지의 구간으로 나누어서 각각의 방위별 특성을 조사하였다. 각 구간은 저탁도 구간을 0~10 NTU로 하고, 중탁도 구간은 10~100 NTU로, 고탁도 구간은 100 NTU이상으로 하여 구간을 설정하였다. 이들 구간에 따른 광원에서 나오는 빛의 특성실험을 위한 실험 장소는 전자파와 외부의 빛이 차단된 암실에서 실행하였다.

3.3.1 무시료 검출특성

시료가 없는 조건에서의 방위별 특성은 광원의 빛이 진행하는 방향(약 130~230°사이)을 제외한 나머지 방위영역에서는 신호 값이 0.11~0.17 Hz로 매우 낮게 나타나 시료의 산란이 없는 조건에서는 광원에서 나오는 빛의 영향만이 존재하며 영향이 미치는 영역은 약 130~230°사이임을 Fig. 5에서 알 수 있다.

3.3.2 저탁도 검출특성

임의로 설정한 구간 중에서 저탁도 영역인 0~10 NTU 사이의 탁도가 낮은 값을 지니는 0.08 NTU 및 4.7 NTU의 저탁도에서의 방위별 특성은 시료의 탁도에 따라 약간의 차이는 있지만, Figs. 6, 7 및 8에 나타나고 있는 바와 같이 주로 네펠로메트릭 위치인 90° ± 10를 중심으로 신호 값이 가장 작게 나타났음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 샘플 셀(cell)이 원형이기 때문에 광원으로부터 나온 빛이 샘플 셀의 내벽 또는 외벽에 반사 또는 굴절되어 나타나는 것과 시료 자체의 광 산란 특성에 따른 후면 산란(backward scatter)과 전면 산란(foward scatter)에 의한 영향인 것으로 생각된다.

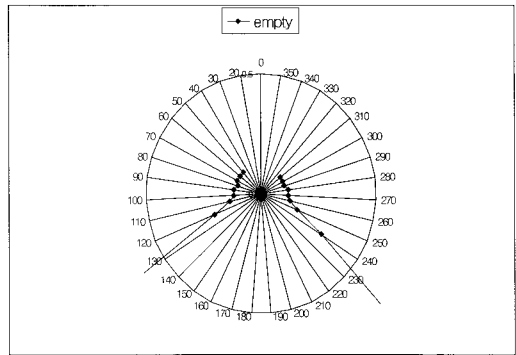


Fig. 5 Detection Characteristics for each Degrees in Empty Sample Cell

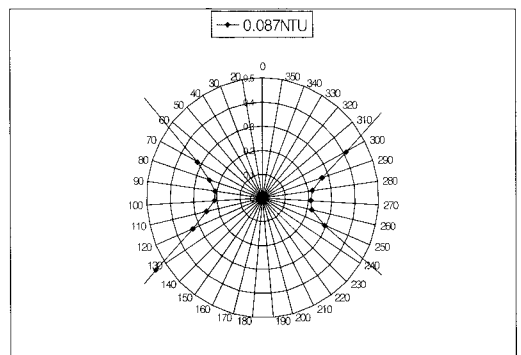


Fig. 6 Detection Characteristics for each Degrees in 0.087 NTU

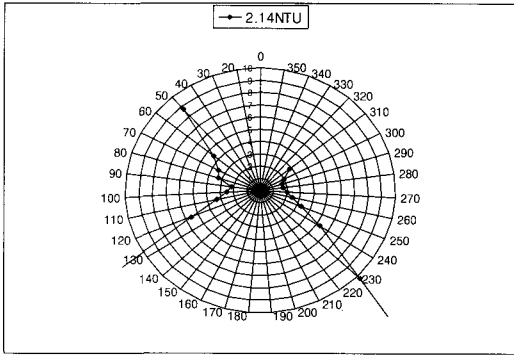


Fig. 7 Detection Characteristics for each Degrees in 2.14 NTU

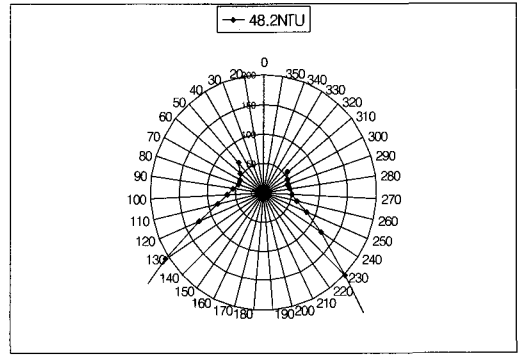


Fig. 10 Detection Characteristics for each Degrees in 48.2 NTU

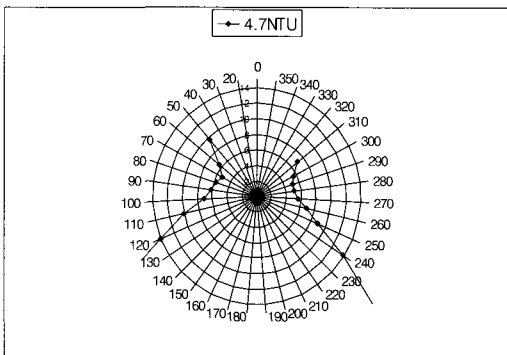


Fig. 8 Detection Characteristics for each Degrees in 4.7 NTU

3.3.3 중탁도 검출특성

Figure. 9, 10에는 중탁도 구간인 10~100 NTU 사이인 18.2NTU 및 48.2NTU에서의 방위별 광원특성을

나타낸 것으로서 앞쪽 방향의 신호값과 다른 방위에서의 신호 값 전체 방위별 신호 값이 점점 높아지면의 차이가 조금씩 줄어드는 것으로 나타났다.

3.3.4 고탁도 검출특성

100 NTU이상의 고탁도 구간에서의 방위별 특성은 Figs. 11, 12, 13 및 14에서 나타내고 있듯이 중탁도에서의 특성과 비슷하게 전체 방위별 신호 값이 높아지면서, 전체 방위에서의 신호 값의 차이가 다른 저·중탁도에서의 신호 값의 차이보다 적게 나는 것으로 나타났다. 이는 광원에서 나온 빛이 고탁도의 셀을 통과하면서 처음 빛이 닿는 부분에서는 광 산란량이 많아지고 셀을 지나면서 광 산란량이 점점 줄어들기 때문인 것으로 사료되며 특히 1000 NTU이상의 초 고탁도에서는 두드러지게 나타나고 있다.

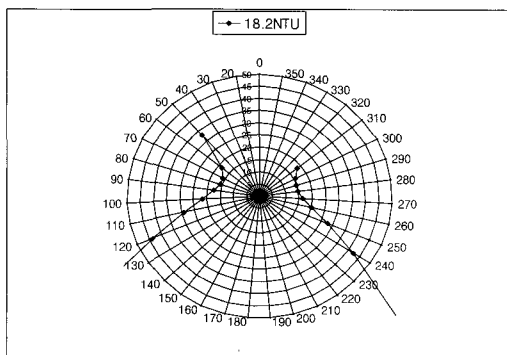


Fig. 9 Detection Characteristics for each Degrees in 18.2 NTU

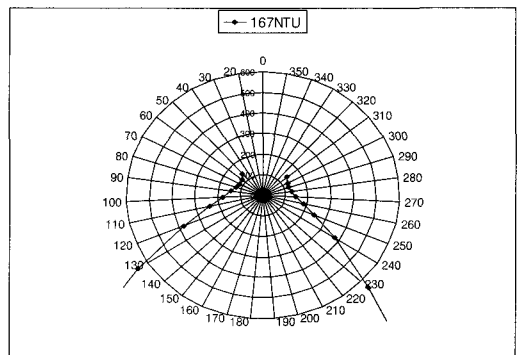


Fig. 11 Detection Characteristics for each Degrees in 167 NTU

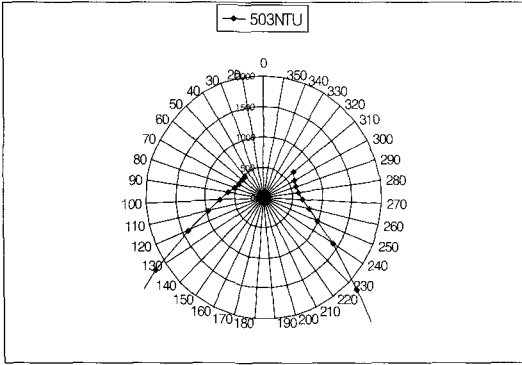


Fig. 12 Detection Characteristics for each Degrees in 503 NTU

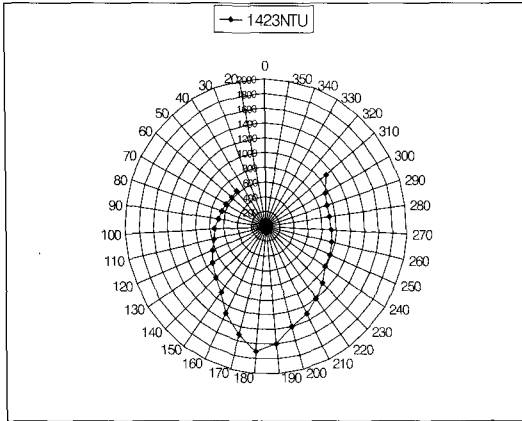


Fig. 13 Detection Characteristics for each Degrees in 423 NTU

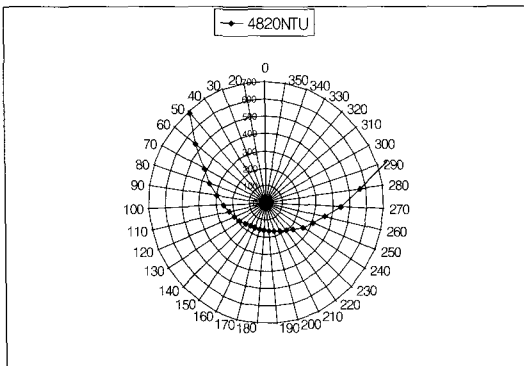


Fig. 14 Detection Characteristics for each Degrees in 4820 NTU

3.3.5 검출특성 분석결과

탁도의 크기에 따른 각 방위별 검출기 특성 결과가 Fig. 15에서 나타내고 있듯이, 저탁도 영역인 0.087, 2.14 및 4.7 NTU에서는 네펠로메트릭 위치를 전후한 지점에서 신호 값이 가장 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한, 18.2, 48.2 NTU와 같이 중탁도에서는 전체적으로 방위별 신호 값이 높아지는 경향을 보이다가 고탁도 구간인 167, 503 NTU 등에서는 중탁도의 특성과 비슷하게 나타나 고탁도 영역으로 갈수록 신호 값은 더욱 증가되는 경향을 보이지만, 방위별로의 신호 값의 격차는 미미한 것으로 나타났다. 하지만 초고탁도인 1423 및 4820 NTU 등에서는 다른 특성을 나타내고 있는데 이것은 광원에서의 빛이 셀을 통과하면서 빛이 최초 닿는 부분에서는 광산량이 많아지지만 셀을 지나가면서 흡수 등의 영향으로 점점 줄어드는 것으로 나타났기 때문이다.

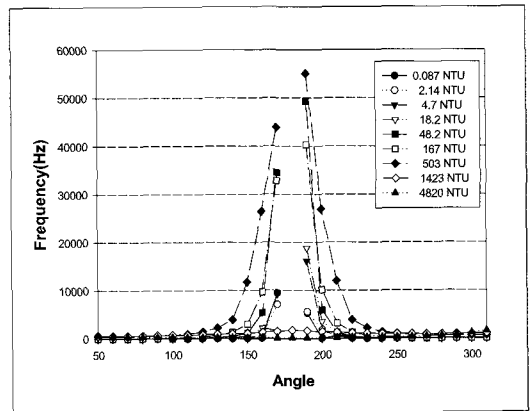


Fig. 15 Detection Characteristics for each Degrees in various Turbidities

4. 결론

이상에서 살펴본 바와 같이 탁도의 크기에 따른 광원에서 나오는 빛의 산란특성을 실험을 통하여 규명하였다. 유체의 탁한 정도를 측정하는 탁도의 범위별로 유체에 의한 광산란 특성은 실험에 의하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 저탁도에서의 방위별 광원특성은 네펠로메트릭 위치(약 $90^{\circ} \pm 10^{\circ}$)를 중심으로 신호 값이 가장 작게 나타났다. 이는 샘플 셀이 원형이기 때문에 광원으로 부터 나온 빛이 샘플 셀의 내벽 또는 외벽에서 반사

또는 굴절되어 나타나는 것과 시료 자체 빛의 산란 특성에 따른 샘플 셀의 후면산란과 전면산란에 의한 영향 때문으로 분석된다.

둘째, 중탁도에서의 방위별 광원특성은 전체 방위별 신호값이 점점 높아지면서 앞쪽 방향의 신호값과 다른 방위에서의 신호값의 차이가 조금씩 줄어드는 것으로 나타났다.

셋째, 고탁도에서의 방위별 광원특성은 중탁도에서의 특성과 비슷하게 전체 방위별 신호값이 높아지면서, 전체 방위에서의 신호값의 차이가 다른 저·중탁도에서의 신호값 차이보다 적게 나는 것으로 나타났다.

결과적으로 본 실험에 의해 탁도의 크기에 따라 저·중 및 고탁도를 구분할 수 있는 광원특성 영역을 확인 할 수 있었으며 향후 국내에서 탁도측정 및 제어기술의 연구에 대한 기초자료로 활용 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) 한국상하수도협회, 2004, “상수도시설기준 먹는 물 수질 기준 및 검사,” pp. 277.
- (2) 서울특별시 수도기술연구소, 1998, “저탁도시 탁도의 최적 측정 방법에 관한 연구,” 수도기술연구집.
- (3) HACH, 1999, “Turbidimeter line,” HACH manual.
- (4) Price, G. R., Rowe, R. D. and Bugg, J. D., 1999, “Numerical Modeling of Large Bubble Dynamics,” pp. 723~730.
- (5) Young, X., Thomas, N. H., Guo, L. J. and Hou, Y., 2002, “Two-way Coupled Bubble Laden Mixing Layer,” chemical engineering science, Vol. 57, pp. 555~564.
- (6) Paal chr. Friberg, 1998, “Three-dimensional Modeling of Gas/Liquid Flow Processes in Bioreactors”.
- (7) Michael J. Sadar, 1988. “Turbidity Science,” Hach Company, pp. 4~5.
- (8) Michael J. Sadar, 2001, “Determining Correlation of Nephelometric turbidity Measurement to suspended solids in industrial samples,” HACH Company, pp. 1~10.
- (9) ISO, “The Standard Methods for the Examination of water and wastewater Method 2130B for turbidity Measuremen”.
- (10) 일본수도기술연구센터, 1998, “水道の計装入門,” pp. 18~19.
- (11) 이혜경, 1988, “표준물질로서 Formazin의 형성과 안정성 고찰,” 이화여자대학교 석사학위논문.