



분류식 오수관내 퇴적특성과 퇴적방지를 위한 설계법 고찰

The Characteristics of Sediment and a Design Method for Preventing Sediment in domestic sanitary sewers

황환국^{1*} · 김영진² · 한상종¹ · 이정민²

Hwan Kook Hwang^{1*} · Young Jin Kim² · Sang Jong Han¹ · Jung Min Lee²

1 한국건설기술연구원 건설환경연구실, 2 한국토지주택공사 토지주택연구원

(2009년 3월18일 접수, 2009년 10월30일 수정, 2009년 12월8일 채택)

Abstract

This study is the result of a field survey of four sewer networks selected from in domestic sanitary sewers. The main purpose of this study is to understand the characteristics of sediment in domestic sanitary sewers and to verify sewer design criteria using minimum Shear Stress for preventing sediment. This investigation was carried out at a total of 22 points in the four areas. The characteristics of the sanitary solids that were sampled for suspended solids and bedload matter showed a specific gravity of 1.09, a median particle size of 1.26mm, and 88.9% organic contents. On the other hand, deposited sediment was found at 6 points out of the 22 monitoring points. The analysis results of disposed sediment showed a specific gravity of 2.16, a median particle size of 1.31mm, and 15% organic contents. In flow velocity, the majority of deposited sites have under 0.6m/s. However, one-site which was in large-diameter collector sewers, has recorded over 0.6m/s. The analysis results of tractive force showed that the ability of tractive force has to be 1.5 ~ 2.0N/m² to prevent sediment in domestic Sanitary sewers. In conclusion, to prevent sediment it is necessary to apply a design velocity criteria higher than 0.6m/s in the large diameter collector sewer.

Key words : Sanitary sewer, Sediment, Minimum velocity, Minimum Tractive force, Specific gravity

주제어 : 오수관거, 퇴적물, 최소유속, 최소소류력, 비중

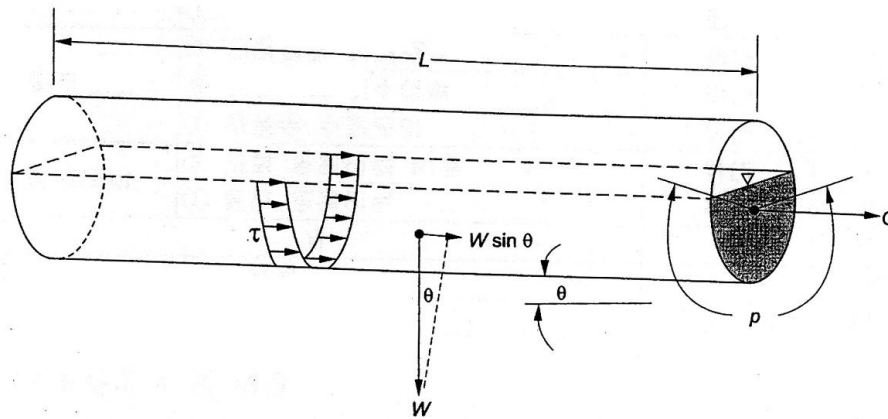
1. 서론

국내 하수관거에서 퇴적물의 성상에 대한 연구는 주로 합류식 하수관거에서 발생하는 퇴적특성과 발생현상에 대한 연구가 대부분으로서, ‘합류식 하수관거 퇴적물의 특성 및 월류수(CSO)의 오염물질 특성’ (신, 2000, 윤, 2005), ‘현장경화공법으로 변형한 복합단면 하수관의 침전물 수송능력평가’ (황, 2006) 등이 있다. 그러나 최근 국내에서

는 분류식화로 인한 하수관거 정비가 시행되고 있으며, 매설된 오수관을 지속적으로 유지관리를 수행하고 장수명화를 유도하기 위해서는 국내실정의 오수관내 퇴적발생여부를 모니터링 하여 그 특성을 파악한 연구는 전무한 실정이다.

한편 하수관 퇴적방지를 위한 설계법에 대한 연구는 ‘Design of sewers to control sediment problems’ (CIRIA, 1996) 과 같이 해외의 우수 연구자들이 선행 연구를 발표한 바 있으며, 최근 미국의 ‘Gravity Sanitary

* Corresponding author Tel:+82-31-910-0305, Fax:+82-31-910-0291, E-mail: hkhwang@kict.re.kr(Hwang, H.K.)



<그림 1> 오수관에서의 소류력 모식도

Sewer Design and Construction' (ASCE&WEF, 2007)에서도 전통적인 오수관 설계법에서 탈피하여 최소소류력 개념에서의 설계법으로 접근하려는 경향을 보이고 있다.

오수관의 설계는 목적이인 하수처리장까지 오수량이 흐르는 동안 퇴적이 발생하지 않고 적절하게 자가 세척이 가능하도록 함에 있다. 국내에서는 통상 매닝공식을 통하여 최소 유속기준 0.6m/s와 계획유량에 대해서 통수능이 만족하도록 설계해왔지만 실제로 오수관, 특히 중소형관에서 발생하는 평상시 최대발생유속은 계획유속에 비하여 적게 흐르는 경우가 많다.

본 연구에서는 분류식화 조성된 4개의 표본조사지구를 선정하여 유량 모니터링과 퇴적도 샘플링 분석을 통하여 오수관 흐름과 고형물의 물리적 특성을 분석하는 것이다. 또한 기존 오수관 설계법은 최소유속기준 0.6m/s로 제한하고 있으나 자가 세척력(Self-Cleansing Ability)에 대한 불충분 지표가 되기 때문에 최소소류력의 개념에서 최소유속을 검토하여 현 설계법의 타당성을 검토하고자 한다.

2. 최소소류력 이론

오수관거내의 고형물의 움직임은 관벽에 작용하는 유수에 의한 소류력(Tractive Force)과 고형물과 관벽 전단력의 균형에 의하여 결정된다. 유수의 소류력이 관벽의 저항력보다 크게 되서 고형물이 움직이기 시작하는 상태를 한계소류력(Critical Tractive Force)이라 하며, 이때의 유속이 한계유속(Critical Velocity)이다. 자체세척유속(Self-Cleansing Velocity)이란 일반적으로 하수 중에 존재할 수 있는 대상 고형물에 대한 한계소류력을 초과할 수 있는 유속으로 정의할 수 있다.

<그림 1>에서와 같이 정상류에서 유체의 중력은 관의 벽면을 따라서 일정해야만 한다. 단위경계구간에서 관의 축에 대한 수평중력은 소류력(Tractive force)으로 표현되며 다음 <식 1>과 같다.

$$\tau = \frac{W \sin \theta}{pL} \dots\dots\dots \text{<식 1>}$$

τ : 소류력(Pa), W : 유체무게(N), p : 윤변(m),
 L : 오수관 길이(m)

여기서 유체의 질량은 다음과 같이 구한다.

$$W = \rho g A L \dots\dots\dots \text{<식 2>}$$

ρ : 유체밀도(kg/m³), g : 중력가속도(9.81m/s²),
 A : 유체면적(m²)

여기서 $A/P = R_h$ 를 이용하여, 소류력은 다음 <식 3>과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau = \rho g R_h \sin \theta \dots\dots\dots \text{<식 3>}$$

여기서 θ 값이 매우 작을 때 대략적으로 경사도인 i 를 사용한다. 따라서 소류력 공식은 최종적으로 다음 <식 4>와 같이 표현될 수 있다.

$$\tau = \rho g R_h i = \omega R_h i \dots\dots\dots \text{<식 4>}$$

최소소류력(Minimum Tractive force)을 하수관에서 적용범위를 본격적으로 제시한 연구자는 Yao이며, 그 후 May 등은 최소소류력 개념을 적용 발전시켜 대상 퇴적물의 퇴적 방지가능한 최소유속식을 제안한 바 있다. 상기 연구자들은 오수관의 관경별로 볼때 동일한 만관기준과 최소유속 기준을 사용할 때, 종종 소구경관에 대해서는 과다설계, 대구경

<표 1> 조사대상지구 및 측정개소 제원

준공 연도	지구명	관종	처리구역면적 (m ²)	오수관 부설 현황	조사대상 관경 및 측정개소
1995	고양 I신도시	흙관	15,735,711	D=300mm~1500×1500mm 총 연장 350,226m	400mm(3지점), 600mm(1지점), 1000mm(1지점), 1500×1500mm(1지점)
2000	대전 N지구	흙관	1,968,025	D=400~700mm 총 연장 26,252m	400mm(3지점), 600mm(1지점), 700mm(1지점)
2001	전주 S지구	흙관	570,999	D=400~450mm 총 연장 10,514m	400mm(3지점), 450mm(2지점)
2003	부천 S지구	흙관	3,117,902	D=400~800 mm 총 연장 28,592m	400mm(4지점), 500mm(1지점), 800mm(1지점)

<표 2> 유속(유량) 및 오수고형물 조사방법

구 분	세부사항	비 고
유속(유량)조사		
- 조사일수 및 간격	일주일 간 (7일) 10분 간격(1일 144회)	일간 유량패턴 산출 일평균유량 산출
- 조사방법	초음파 유량계에 의한 연속·자동측정	
오수고형물 성상조사		
- 조사일수 및 간격	1박 2일 24시간 샘플링 주야 두시간 간격 12회	
- 조사항목	SS, 오수고형물 입도분석, 퇴적토 입도분석, 비중, 강열감량	일간 SS 변화곡선 산출 평균 SS 농도 산출
- 조사방법	- 오수고형물의 경우 전체 지점 채취 - 퇴적토의 경우 발생지점 채취	

관에 대해서는 과소설계를 초래한다고 판단하였다. Yao는 유기성 고형물이 대부분인 오수관의 경우 최소소류력은 1 ~ 2N/m² 범위이며, 합류식 관거의 경우 최소 소류력을 3 ~ 4N/m² 정도 범위에서 만족해야 하는 것으로 판단하였다. 또한 May는 오수고형물이 이송가능한 한계소류력(Critical Tractive Force)을 1.07N/m² 로 제시하였다. May는 오수고형물의 특성에 따라 퇴적발생시점에 대한 한계속도를 산출하기 위하여 다음의 <식 5>와 <식 6>을 제안하였다. 여기서 C_v는 농도(SS)이며, V_t는 한계속도 즉, 퇴적방지를 위한 최소유속을 말한다. 다음의 두 가지식을 이용해 시행착오법을 통하여 오수관내 고형물의 물리적 특성에 따른 최소유속을 구하도록 제시하였다.

$$C_v = 3.03 \times 10^{-2} \left(\frac{D^2}{A} \right) \left(\frac{d}{D} \right)^{0.6} \left(1 - \frac{V_t}{V} \right)^4 \left(\frac{V^2}{g(s-1)D} \right)^{1.5}$$

.....<식 5>

$$V_t = 0.125 \sqrt{g(s-1)d} \left(\frac{y}{d} \right)^{0.47}$$

.....<식 6>

3. 표본조사지점 및 조사방법

3.1 표본조사지점

통상 오수관거의 경제적인 설계를 위해서는 관 경사 설계는 지형적인 특성의 경사도에 맞게 관 경사를 설계하므로 표본조사대상 선정 시 주안점으로는 오수관내 퇴적토가 발생가능한 지형을 검토하였다. 그 결과 대부분 성토조성된 지역특성을 가진 고양 I신도시 및 완만한 지형경사인 대전 N지구, 전주 S지구, 부천 S지구를 선정하였다.

표본조사지점 선정은 각 지구별 5 ~ 6지점을 선정하여 총 22개소로서 지선관부터 최종 간선관까지 관경별로 대표성이 있는 지점을 채택하였다. 또한 모니터링 연속측정 검지가능조건으로서 오수의 최소 수심이 최소 5cm 정도 이상의 유하조건인 지점을 대상으로 선정하였다.

3.2 유량 모니터링 및 성상분석 방법

총 4개 지구 22개 표본조사지점에 대하여 현장유량조사와 오수고형물(SS, 입도, 비중, 강열감량) 및 퇴적토의 물리적 특성분석(입도, 비중, 강열감량)을 병행하였다.

유량조사의 경우, 연속 측정도구로는 초음파식 유량계(SIGMA 910, HACH사)를 통하여 최소 일주일 이상의 데이터를 수집하였으며, 실시간 간이측정도구로서 프로펠러 유속계(Aquacalc 5000, JBS사)를 활용하였다.

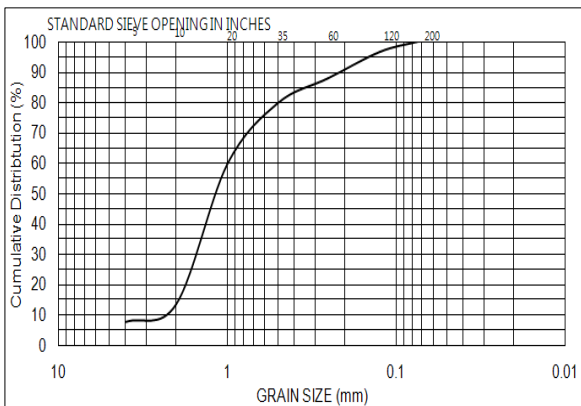
오수고형물 성상조사의 경우, 각 22개 지점별 12회 샘플링 수행하여, SS 일간패턴 및 평균 SS 농도를 산출하였고, 물리적 특성분석을 위해서는 각 지구별로 할당된 5~6개소의 표본조사지점에서 채취한 60개 이상의 시료를 혼합하여 침전시킨 후, 4개 지구별로 입도분석, 비중, 강열감량의 결과를 도출하였다. 퇴적토의 경우는 표본조사지점 22개소 중 퇴적이 목격된 6개소 중 현장채취가 가능하였던 5개소에서 채취하여 동일한 입도분석, 비중, 강열감량 분석을 실시하였다.

입도분석의 방법은 진동체거름기를 이용하여 습식체가름 시험법을 이용하여 분석하였으며, 비중은 습식체가름 후 시료를 건조시킨 다음 르샤틀리에 비중병을 이용하여 고체의 비중측정방법에 의거하여 분석하였다. 또한 폐기물 분석시험법에 의거하여 강열감량 분석을 실시하였다.

4. 분석결과 및 최소소류력 고찰

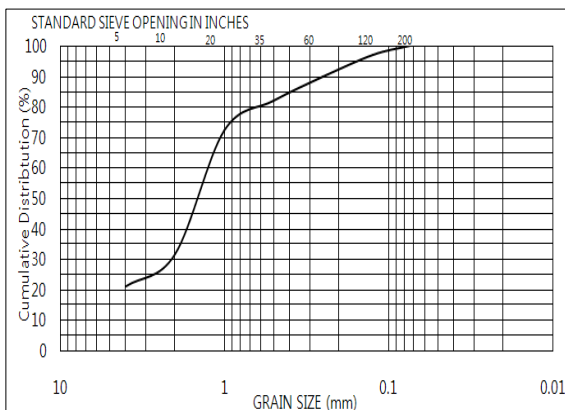
4.1. 오수고형물의 성상분석

본 연구에서 오수고형물(Sanitary Solids)의 범위는 오수관내에서 소류 및 부유되는 고형물을 대상으로 하며, 기타 예외적인 부유성 이물질(비닐, 플라스틱계 등)은 제거후 수행한 결과이다. 4개 지구의 오수고형물의 물리적인 성상분석결과를 다음 <그림 2>~<그림 5>에서 나타내었다. 국내 주거단지를 대상으로 표본조사로 실시한 오수고형물은 중앙입경은 1.16mm ~ 1.46mm, 비중은 1.05 ~ 1.12, 유기물함



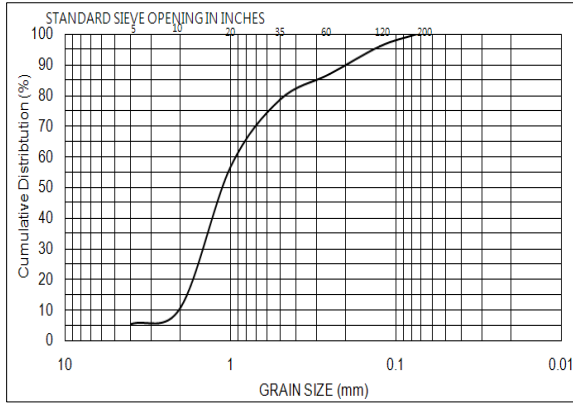
<그림 2> 고양 1신도시 오수고형물 특성 (중앙입경 : 1.16mm)

체번호	입경 (mm)	비중	입도분포 (%)	유기물 함량비 (%)
200	0.074	1.00	3.24	79.8
120	0.125	1.04	8.56	87.1
60	0.25	1.14	20.45	83.6
35	0.5	1.26	45.85	90.7
20	1	1.05	5.89	93.0
10	2	1.22	7.73	93.3
5	4	1.20	7.73	87.4
전체 비중 평균		1.12	유기물 함량비 평균	90.4



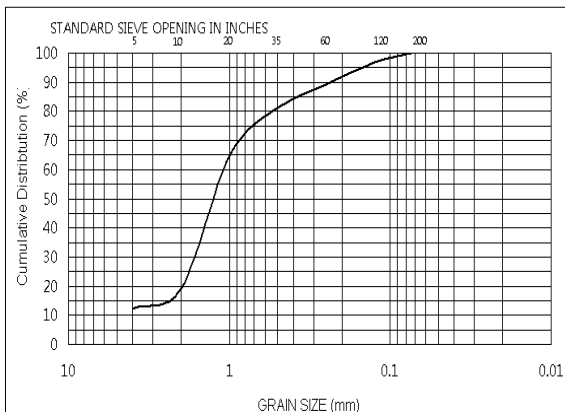
<그림 3> 부천 S지구 오수고형물 특성 (중앙입경 : 1.46mm)

체번호	입경 (mm)	비중	입도분포 (%)	유기물 함량비 (%)
200	0.074	1.14	2.90	74.2
120	0.125	1.01	7.19	80.8
60	0.25	1.01	7.83	50.0
35	0.5	1.01	9.87	51.7
20	1	1.07	40.72	83.1
10	2	1.11	10.50	80.4
5	4	1.14	20.98	89.5
전체 비중평균		1.07	유기물 함량비 평균	78.0



<그림 4> 대전 N지구 오수고형물 특성 (중앙입경 : 1.16mm)

체번호	입경 (mm)	비중	입도분포 (%)	유기물 함량비 (%)
200	0.074	1.17	3.89	86.92
120	0.125	1.16	9.16	91.09
60	0.25	1.08	8.42	93.64
35	0.5	1.11	22.30	95.40
20	1	1.05	45.66	95.07
10	2	0.86	5.25	96.05
5	4	0.68	5.32	93.50
전체 비중평균		1.05	유기물 함량비 평균	94.3



<그림 5> 전주 S지구 오수고형물 특성 (중앙입경 : 1.27mm)

체번호	입경 (mm)	비중	입도분포 (%)	유기물 함량비 (%)
200	0.074	1.05	2.97	81.46
120	0.125	1.03	7.83	83.27
60	0.25	1.09	7.95	89.07
35	0.5	1.12	16.46	90.89
20	1	1.12	45.78	91.38
10	2	1.33	6.66	93.90
5	4	1.01	12.34	92.73
전체 비중평균		1.11	유기물 함량비 평균	90.5

량비가 78.0 ~ 94.3%의 범위를 보이는 물리적 성상을 가지고 있었다.

오수고형물 성상에 대한 육안조사결과는 화장실 고형물(휴지류 등)이 대부분 관측되었으며, 조대입자로서는 무기성의 경우 모래질 입자류, 철재 입자류, 기타 부스러기류가 목격되었고 유기성 입자로서는 수박씨, 포도씨, 등의 씨앗류 성분이 주로 목격되었다.

4.2 오수관 퇴적토의 성상분석

본 연구에서 퇴적토 발생 여부는 장기적으로 퇴적되어 시커멓게 혐기화된 개소를 대상으로 하였다. 일시적으로 퇴적되어 하루 중 피크유량 발생 시 충분히 소류 가능한 지점의 것은 검토대상에 포함되지 않았다. 퇴적개소에 대하여 과거의 준설이력이 없었으며 현재 오수관내 퇴적토는 오수관 매설 후 지금까지 퇴적되어온 총량으로 판단할 수 있었다. 퇴

적토의 채취지점 5개소에 대해서 물리적 성상분석을 시행하였으며 다음 <표 3>에서 나타내었다.

국내 주거단지를 대상으로 표본조사로 실시한 오수관 퇴적토의 성상은 대부분 비중이 2.3 이상이고 유기물함량이 10% 이내인 무기성 고형물 입자로 구성된 것으로 조사되었다.

부천-4 지점의 경우는 예외적인 결과가 산출되었는데 현장 재검토 결과 측정지점 아랫단의 맨홀구조물의 흐름저항요인이 발생하여 오수를 정체시키는 비정상적인 경우로서 비중이 1.22이며 유기물 함량이 48.7%로 분석되었다.

4.3 최소유속기준 분석

유량 모니터링 분석결과와 퇴적개소에 대한 분석결과를 다음 <표 4>에서 나타내었다. 총 22개소 중 최소유속조건에 미달된 개소는 12개소를 기록하였으며, 이중 퇴적발생개소

<표 3> 퇴적개소의 물리적 특성결과

지점	입도분포곡선	퇴적깊이	물리적 특성	
전주-1			중양입경 (mm)	0.96 mm
			비중	2.34
			유기물함량 (%)	5.0 %
부천-2			중양입경 (mm)	1.05 mm
			비중	2.34
			유기물함량 (%)	10.5 %
부천-4			중양입경 (mm)	0.65 mm
			비중	1.22
			유기물함량 (%)	48.7%
일산-4			중양입경 (mm)	1.09 mm
			비중	2.56
			유기물함량 (%)	3.7 %
대전-4			중양입경 (mm)	1.77 mm
			비중	2.31
			유기물함량 (%)	7.5 %

는 최소유속조건에 미달된 개소에서 5개소가 관측되고, 최소유속조건 0.6m/s를 상회하면서도 퇴적된 1개소로서 대전

4 지점이 관측되었다. 고양 3 지점은 두 번의 조사가 진행되었는데 관측지점 하류부의 막힘 현상이 존재하여 준설전후

<표 4> 전체 지점별 최소유속기준에 따른 퇴적여부 비교검토

지점	관경 (mm)	관경사 (%)	처리구역 면적 (m ²)	평균SS 농도 (mg/L)	수심비 (H/D)	유속변화 (m/s)	유량변화 (m ³ /d)	최소유속 (0.6m/s) 미달개소	퇴적여부 (cm)	비고
고양-1	400	1.60	7,426	163	0.10~0.54 (0.24)	0.01~0.25 (0.06)	11~695 (146)	✓	0	
고양-2	400	2.10	15,504	84	0.05~0.47 (0.22)	0.01~0.34 (0.09)	3~890 (208)	✓	0	
고양-3 (1차)	400	0.50	43,664	84	0.37~0.69 (0.54)	0.04~0.27 (0.13)	139~2,121 (781)	✓	0	
고양-3 (2차)	400	0.50	43,664		0.25~0.36 (0.30)	0.02~0.49 (0.27)	44~1,385 (760)	✓	0	
고양-4	600	1.53	555,126	123	0.34~0.74 (0.56)	0.04~0.38 (0.24)	318~7,264 (3,563)	✓	4~6	
고양-5	1000	3.83	2,627,250	118	0.34~0.71 (0.55)	0.38~0.63 (0.50)	8,345~29,360 (19,003)		0	
고양-6	1,500 × 1,500	0.23	6,629,597	138	0.34~0.66 (0.52)	0.15~0.55 (0.43)	11,004~67,614 (44,495)	✓	7	현장여건상 퇴적깊이만 측정
부천-1	400	3.84	36,684	77	0.21~0.32 (0.25)	0.02~0.61 (0.24)	34~1,749 (524)		0	
부천-2	400	2.19	102,138	113	0.14~0.23 (0.18)	0.00~0.28 (0.15)	0~446 (197)	✓	4~5	
부천-3	400	7.20	303,443	141	0.14~0.51 (0.28)	0.24~0.71 (0.52)	272~3,199 (1,374)		0	
부천-4	400	1.79	117,096	123	0.56~0.88 (0.72)	0.02~0.3 (0.13)	112~3,028 (1,134)	✓	7	
부천-5	500	3.51	301,533	118	0.27~0.48 (0.34)	0.16~0.71 (0.52)	638~5,001 (2,682)		0	
부천-6	800	2.30	2,295,675	131	0.36~0.81 (0.62)	0.12~0.72 (0.52)	2,237~24,724 (15,489)		0	
대전-1	400	1.4	162,781	123	0.26~0.61 (0.41)	0.02~0.43 (0.21)	105~1,737 (738)	✓	0	
대전-2	400	11	51,429	291	0.09~0.2 (0.14)	0.04~0.29 (0.20)	20~594 (187)	✓	0	
대전-3	400	8.1	285,695	140	0.21~0.29 (0.25)	0.05~0.59 (0.35)	88~1,473 (784)	✓	0	
대전-4	600	2.4	761,471	130	0.44~0.59 (0.52)	0.16~0.83 (0.50)	4,377~12,509 (6,530)		3~4	
대전-5	700	3.3	1,236,006	161	0.44~0.60 (0.52)	0.32~0.75 (0.55)	4,891~14,464 (9,619)		0	
전주-1	400	1.53	21,618	128	0.14~0.19 (0.16)	0.00~0.39 (0.08)	0~484 (98)	✓	2~3	
전주-2	400	8.45	52,522	141	0.08~0.22 (0.16)	0.03~0.6 (0.34)	17~995 (395)		0	
전주-3	450	1.8	60,986	138	0.0044~0.73 (0.35)	0.09~0.44 (0.27)	1~4,595 (1,401)	✓	0	
전주-4	450	2.8	133,249	128	0.005~1.20 (0.50)	0.02~0.75 (0.36)	1~10,306 (2,893)		0	
전주-5	450	4.8	184,850	138	0.27~0.43 (0.34)	0.19~0.76 (0.52)	623~3,928 (2,194)		0	

(주) 표내에서 ()안의 값은 평균값임.

의 경과를 파악하였다. 1차 준설전 조사시에는 일간발생유속이 0.04 ~ 0.27m/s 범위, 2차 준설후 조사시에는 0.02 ~ 0.49m/s의 유속범위가 기록되었다.

4.4 최소소류력기준 분석

측정된 최대유속과 비교하기 위하여 최소소류력 기본식인 <식 4>를 통하여 산출된 실측소류력을 구하고 Yao가 제시한 추천소류력의 범위, May의 유기성 오수고형물의 한계

소류력과 비교 검토한 결과를 다음 <표 5>에서 나타내었다.

실측 최대소류력값을 통한 퇴적도 분석은 측정 최대유속에서 판단 수 없는 세부적인 경향을 판단할 수 있었다. 본 검토 결과로 각 측정지점의 퇴적도 정상결과와 실측소류력의 결과의 경향은 대부분 일치하였으며 퇴적발생여부의 보조적인 판단지표로 활용 가능할 것으로 판단된다.

본 조사결과에서의 국내수준의 오수고형물 비중 평균은 약 1.1로서 유기성 오수고형물의 전형적인 특성을 가지며,

<표 5> 전체 지점별 최소소류력 추천범위에 따른 퇴적여부 비교검토

지점	관경 (mm)	관경사 (%)	측정 평균유속	(1)측정 최대유속 (m/s)	(2)실측최대소류력 (N/m ²)	(3)Yao의 추천소류력 (N/m ²)비교		(4)May의 유기물질 최소소류력 만족여부 1.07N/m ²	관로내 흐름특성	최소소류력과 현장여건 비교검토
						분류식 1~2N/m ²	합류식 3~4N/m ²			
고양-1	400	1.6	0.06	0.25	1.65	1.5 < 1.65 < 2		○	소류	O.K
고양-2	400	2.1	0.10	0.34	1.97	1.5 < 1.97 < 2		○	소류	O.K
고양-3 (1차)	400	0.50	0.13	0.27	0.58	0.58 < 1		×	소류	N.G (예외상황발견)
고양-3 (2차)	400	0.50	0.27	0.49	1.62	1.5 < 1.62 < 2		○	소류	
부천-1	400	3.84	0.24	0.61	2.72	2.72 < 3		○	부유	O.K
부천-2	400	2.19	0.15	0.28	1.15	1 < 1.15 < 1.5		○	무기물 퇴적	N.G (예외상황미발견)
부천-3	400	7.2	0.52	0.71	7.11	4 < 7.11		○	부유	O.K
부천-4	400	1.787	0.13	0.3	2.13	2.13 < 3		○	유무기물 퇴적	N.G (예외상황발견)
대전-1	400	1.4	0.21	0.43	1.37	1 < 1.37 < 1.5		○	부유	O.K
대전-2	400	11	0.20	0.29	5.23	4 < 5.23		○	부유	O.K
대전-3	400	8.1	0.35	0.59	5.23	4 < 5.23		○	부유	O.K
전주-1	400	1.53	0.08	0.39	0.70	0.70 < 1		×	무기물 퇴적	O.K
전주-2	400	8.45	0.34	0.60	4.38	4 < 4.38		○	부유	O.K
전주-3	450	1.8	0.27	0.44	2.38	2.38 < 3		○	부유	O.K
전주-4	450	2.8	0.36	0.75	3.76	3 < 3.76 < 4		○	부유	O.K
전주-5	450	4.8	0.52	0.76	4.76	4 < 4.76		○	부유	O.K
부천-5	500	3.505	0.52	0.71	4.15	4 < 4.15		○	부유	O.K
고양-4	600	1.53	0.24	0.38	2.7	2.7 < 3		○	무기물 퇴적	N.G (조립자발견)
대전-4	600	2.4	0.50	0.83	3.89	3 < 3.89 < 4		○	무기물 퇴적	N.G (조립자발견)
대전-5	700	3.3	0.55	0.75	6.28	4 < 6.28		○	부유	O.K
부천-6	800	2.30	0.52	0.72	5.49	4 < 5.49		○	부유	O.K
고양-5	1000	3.83	0.50	0.63	11.17	4 < 11.17		○	부유	O.K
고양-6	1500× 1500	0.23	0.43	0.55	0.98	0.98 < 1		×	무기물 퇴적	O.K

(1) 실제측정 최대유속

(2) 실측최대유량에 따른 발생 최대소류력 계산 ($\tau = \rho g R I$)

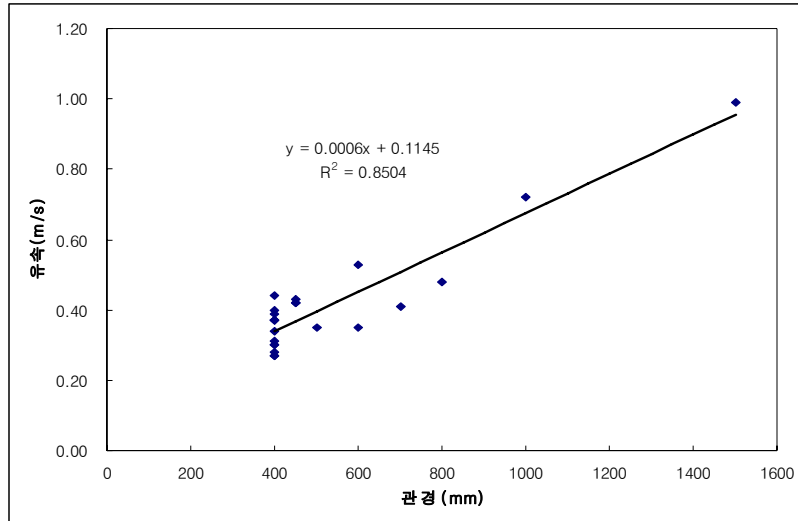
$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3, g=9.81(\text{중력가속도}), R= \text{동수반경}, I= \text{관경사}$$

(3) 관측지점의 실측소류력에 대한 May의 오수관내 소류·부유를 위한 소류력 1~2N/m², 합류관내 소류·부유를 위한 최대소류력 3~4N/m² 일때의 범위검토

(4) 관측지점에서 May의 오수고형물의 최소소류력 1.07N/m²의 만족여부 검토

May가 추천한 유기물질의 최소소류력인 1.07N/m² 이상이면 충분히 소류부유 이송이 되는 것으로 관측되었다. 그러나 현재 퇴적도의 분석결과로 볼 때 무기성 고형물이 상당수 퇴적되어 있는 것으로 보아서 유무기성 오수고형물이 원활히 이송되기 위해서는 최소소류력 1.5 ~ 2N/m² 정도의 범

위를 두고 적절성 여부를 판단되어야 할 것으로 생각된다. 분석결과와 소류력 범위의 지점으로서 고양-4 지점과 대전-4 지점은 실측소류력이 2N/m² 이상임에도 불구하고 퇴적 현상이 발생되었다. 본 지점은 상당수의 조대 무기성 자갈이 포함된 것을 육안조사로 관측되었다. 따라서 오수고형물질



<그림 6> 관경에 따른 만관 최소유속 추세선

<표 6> 국내 오수고형물 성상을 고려한 May의 관경별 만관 최소유속 산출값 비교

관경 (mm)	400	450	500	600	700	800	1000	1500×1500
May식의 관경별 만관최소유속 산출값 (m/s)	0.35	0.38	0.41	0.47	0.53	0.59	0.71	1.01

을 통한 퇴적발생 외의 다른 원인이 존재할 것으로 유추되거나 관로의 상류구간에 대한 CCTV조사 등을 통한 원인 검증을 수행하지는 못하였다.

한편 May가 제안한 <식 5>와 <식 6>으로 시행착오법을 통하여 관경별 오수고형물이 이송 가능한 만관최소유속을 산출하였다. 여기서 May에 의한 최소유속산정은 측정지점의 오수고형물의 SS 농도에 따라서 달라지는데, 각 지점별 평균 SS농도를 대입하여 산출하였다. 그 결과를 다음 <그림 6>에서 나타내었으며 조사결과와 회귀식은 $Y = 0.0006X + 0.1145$ ($R^2=0.8504$)로 산출되었다. 본 검토결과는 관경이 커질수록 오수고형물이 이송하기 위한 만관최소유속은 점차적으로 커지는 결과를 보였다.

회귀식을 통하여 관경별로 만관최소유속 산출값을 계산하여 <표 6>에서 제시하였다. 본 분석결과로의 판단할 수 있는 것은 관경 800mm이내에서는 최소유속의 설계치 0.6m/s는 안정적인 설계인 것으로 판단되었다. 그러나 May의 추천식을 통한 산출값은 관경 1000mm일 때 제안치가 0.71m/s이며, 압거 1500×1500mm 일때는 제안치가 1.01m/s로 점차적으로 높아지는 결과를 보였다. 본 측정지

점 중 고양-6 지점(1500×1500mm)에서는 실측 최대유속은 0.55m/s였고, 실측 최대소류력이 $0.98N/m^2$ 으로서 관저류부에서 퇴적도가 목격된 바, May식을 통한 분석결과를 지지한다. 그러나 현 조사분석결과는 중대구경관에서 모니터링 지점수가 매우 적었으므로 설계자가 신뢰할 수 있는 최소소류력 개념의 최소유속 제안치를 산출하기 위해서는 향후 더욱 많은 지점에서 추가적인 조사분석 연구가 필요한 것으로 판단된다.

5. 결 론

분류식 오수관내 고형물의 성상분석 및 퇴적방지 설계법을 고찰하기 위해서 고양 I신도시, 부천 S지구, 대전 N지구, 전주 S지구에 총 22개소를 선정하여 유량·유속조사 및 오수고형물 및 퇴적도의 물리적 특성분석을 실시하였다. 조사결과를 토대로 Yao와 May가 제안한 최소소류력식을 검토하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 분류식 오수관을 대상으로 총 4개 표본조사지구의 오수

관내 고형물에 대한 물리적 성상의 분석결과 비중평균 1.09, 평균 중앙입경은 1.26mm, 평균 유기물함량이 88.9% 으로 측정되었다.

- 2) 오수관내 퇴적된 퇴적물의 물리적 성상을 조사하기 위해서 조사지점중 퇴적토 발생지점에서 채취하여 분석결과 비중평균 2.16, 평균 중앙입경은 1.31mm이고, 평균 유기물함량이 15%로 측정되었다.
- 3) 모니터링 지점 중 22개소 중 최소유속 0.6m/s 조건에 미달된 개소는 12개소를 기록하였으며, 그중 퇴적발생 개소는 최소유속조건 0.6m/s에 미달된 개소에서 5개소가 관측되고, 최소유속조건 0.6m/s를 상회하면서도 퇴적된 개소도 1개소가 관측되었다.
- 4) Yao 및 May의 추천소류력과 비교하여 관측지점 22개소의 오수관내 실제 흐름경향에 따른 최소소류력을 산출해 본 결과, 퇴적방지를 위해서는 적어도 1.5 ~ 2.0N/m² 범위의 최소소류력을 지니고 있는 상태여야 될 것으로 분석되었다.
- 5) May식을 통해서 오수고형물의 퇴적방지를 위한 만관최소유속을 산출한 결과 관경별로 필요한 최소유속이 점차 증대하는 경향을 보였으며, 소구경관에서는 현재 최소유속기준 0.6m/s는 여유가 있으나, 관경 800mm 이상의 중대구경관에서 설계시는 기존의 최소유속기준 0.6m/s 보다 상향으로 설계하는 것이 안정적인 것으로 분석된다. 그러나 향후 추가적인 조사데이터 수집을 통한 최소소류력 개념의 최소유속에 대한 구체적 연구분석이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국토지주택공사의 “하수관 최적설계를 위한 조사 분석 연구”의 수행결과로 도출된 것으로서 연구비를 지원해 주신 것에 대해서 감사드립니다.

참고문헌

1. 신응배, 배우근, 조만재, 김연권, 김백중(2000), “합류식 하수관거 내 퇴적물에 의한 오염물질 발생특성”, **환경과학논문집**, 21, pp.29-40
2. 윤현식, 이두진, 박영숙(2005), “입경분포 분석을 활용한 합류식 하수관거 월류수(CSO)오염물질 침강성 예측”, **상하수도학회지**, 20(2), pp.295-302
3. 한국토지공사(2008), **하수관 최적설계를 위한 조사 분석 연구**, pp.103-240
4. 한국표준협회(2007), “KS L 4003, 도자기용 점토의 습식 체가름 시험방법”
5. 한국표준협회(2005), “KS A 0602, 고체의 비중 측정 방법”
6. 황환국(2006), 현장경화공법으로 변형한 복합단면 하수관의 침전물 수송능력 평가, **홍익대학교 박사학위논문**, pp.56-60
7. Ackers, J. C, Butler, D., and May, R. W. P.(1996), **Design of sewers to control sediment problems**, pp.19-25, CIRIA
8. ASCE & WEF(2007), **Gravity Sanitary Sewer Design and Construction**, Manual of Practice No. FD-5, 2nd Edition, pp. 113-163
9. Butler, D, May, R. W. P., Ackers, J. C. (1996a), Sediment transport in sewers - Part 1. Background, **Water, Maritime and Energy**, 118, pp.103-112
10. Butler, D, May, R. W. P., Ackers, J. C. (1996b), Sediment transport in sewers - Part 2, **Water, Maritime and Energy**, 118, pp.113-120
11. Haestad, Thomas M. Walski, et al.(2004), **Wastewater Collection System Modeling and Design**, pp. 63-72