

5. 汚染深化 都市河川の 水質調査研究

忠北大學校	副教授	沈淳輔
忠北大學校	방문교수	이세현
忠北大學校	大學院卒	남현욱
忠北大學校	碩士課程	박노혁

심순보 : 충북대학교 부교수

이세현 : 충북대학교 방문교수

남현욱 : 충북대학교 대학원 졸

박노혁 : 충북대학교 석사과정

1. 연구 배경 및 목적

우리나라 오염 심화 도시 하천(무심천, 중양천, 안양천, 탄천, 금호강, 갑천, 광주천, 수영천 등)은 도시인구의 집중 현상으로 인한 생활 하수의 유입과 산업 및 공업화에 따른 산업 폐수의 방출 및 농경지의 과도한 농약 사용으로 인한 관개 용수 및 토양 오염으로 도시하천수는 고농도의 오염물질로 포화되어 하천의 자연 자정능력을 크게 상실하여 하천 본태의 기능을 상실하고 있음은 주지의 사실이다.

그리하여 최근 각급 기관에서 도시하천의 기능 회복을 위한 오염 실태 조사를 시행중에 있으나, 대부분 지점별 임의 채수 시료에 대한 하천 수질의 이 화학적 생물학적 수질 현황 조사 분석에 그치고 있는 실정이다.

본 조사 연구에서는 도시하천의 본태의 자연 상태로서의 기능 회복을 위하여서는 무엇보다 수계 일관한 수량적인 시간적, 공간적 변동과 수질 오염 발생원의 특성 규명 및 이의 하천에 미치는 영향과 오염물질이 하천유로 전 구간내에서 유행 변동과 상관하여 변화되는 과정이 중요하다고 보았다.

본 조사 연구의 목적은 오염 심화 도시하천의 정화 방안 강구 및 기능 회복을 위한 수계일관한 하천 형태학적 특성과 수문 수리적인 흐름 특성을 중요시하여 가장 중요한 수질 지표인 DO 및 BOD 의 도시하천 구간내에서의 변화를 조사 연구하는데 있다.

2. 대상 유역의 선정 및 하천 형태학적 특성 분석 개요

본 조사 연구를 위하여 오염 심화 도시하천 중 오염도가 극히 심한 무심천을 택하였다. 무심천은 인구 약 330,000명인 청주시를 유역 출구 부근에 포함하고 있는 유역 면적 192.2 km², 유로연장 34.5 km, 동서 길이 약 18 km, 남북 길이 약 19 km 인 4차 하천이나, 아직까지 유역의 토지, 수자원, 하천 환경 보전, 도시

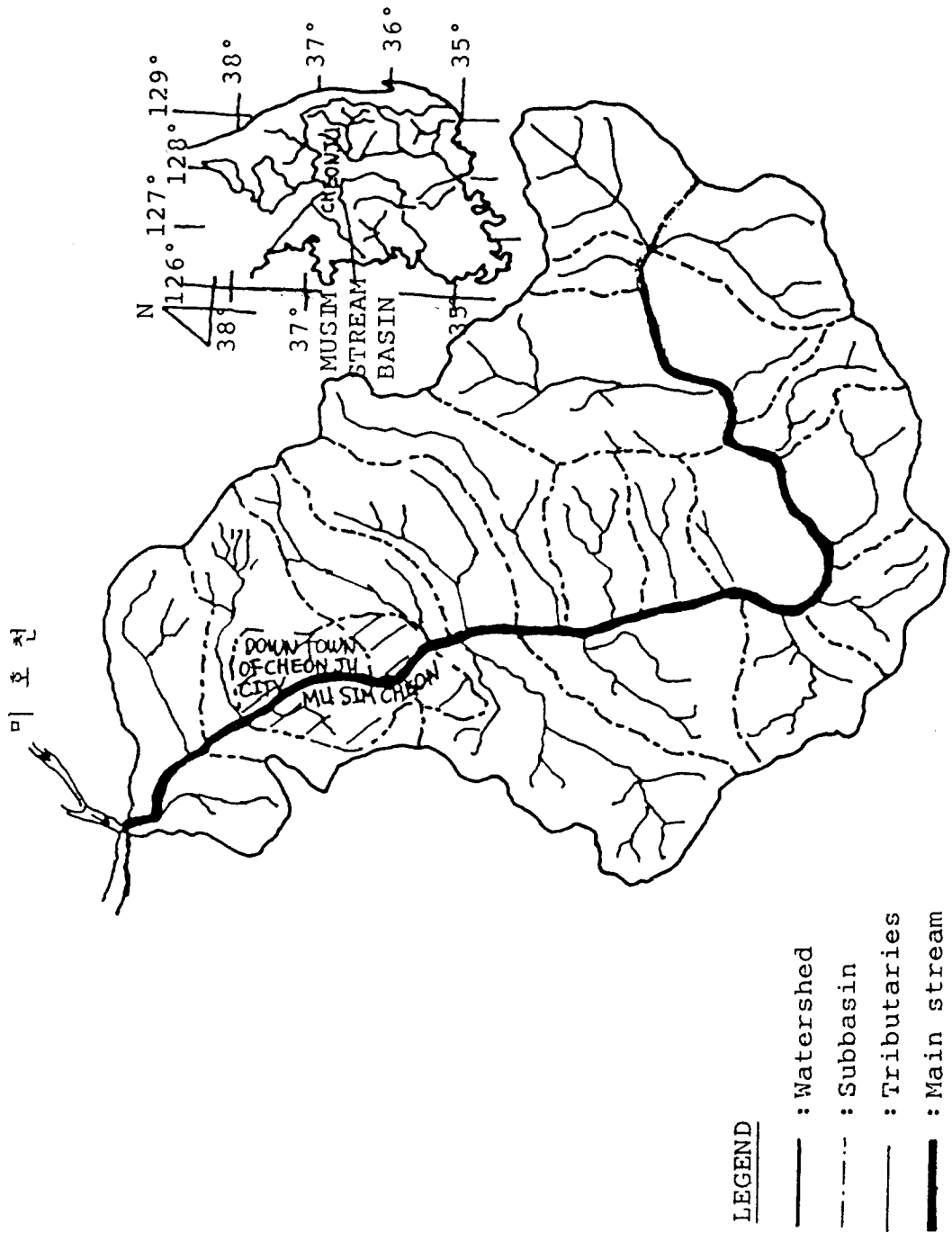


Fig.1 Location and Subbasins of Musim Cheon Stream Basin

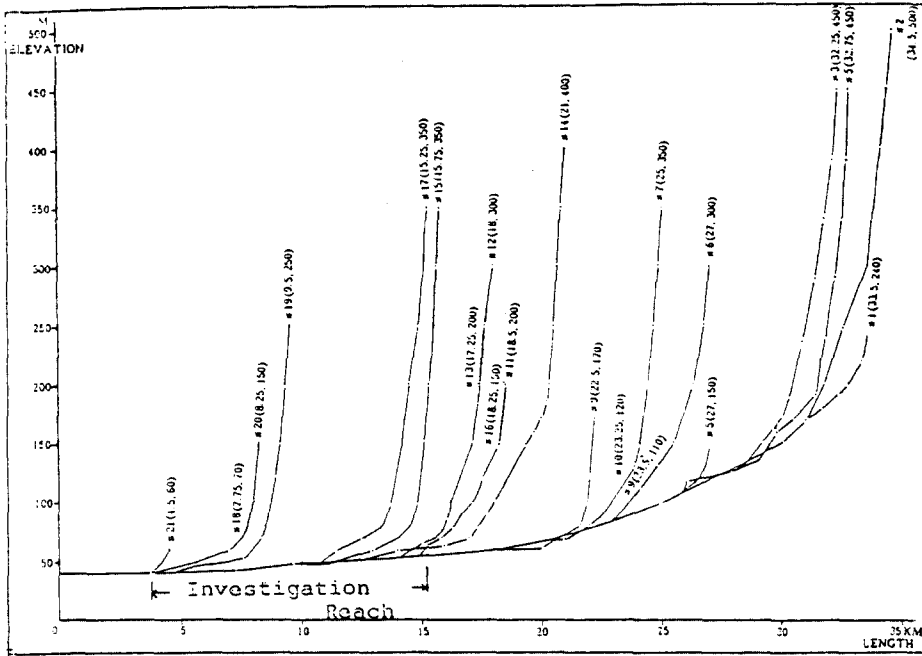


Fig. 1.1 Mu Sim Cheon Profile

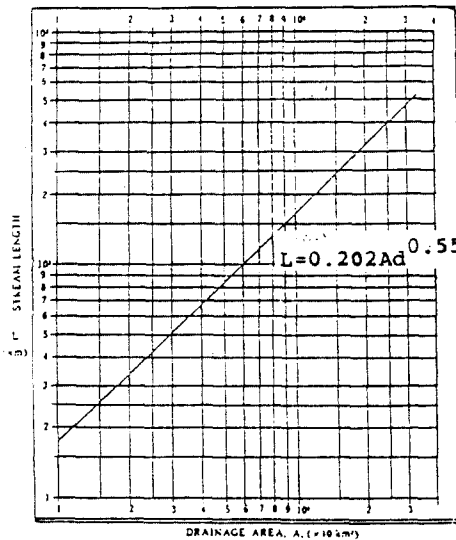


Fig. 1.2 Stream Length vs Drainage Area

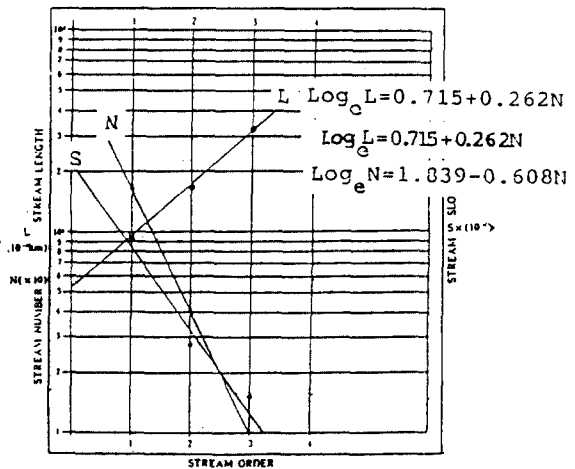


Fig. 1.3 Stream Order vs Stream Number, Stream Length Stream Slope

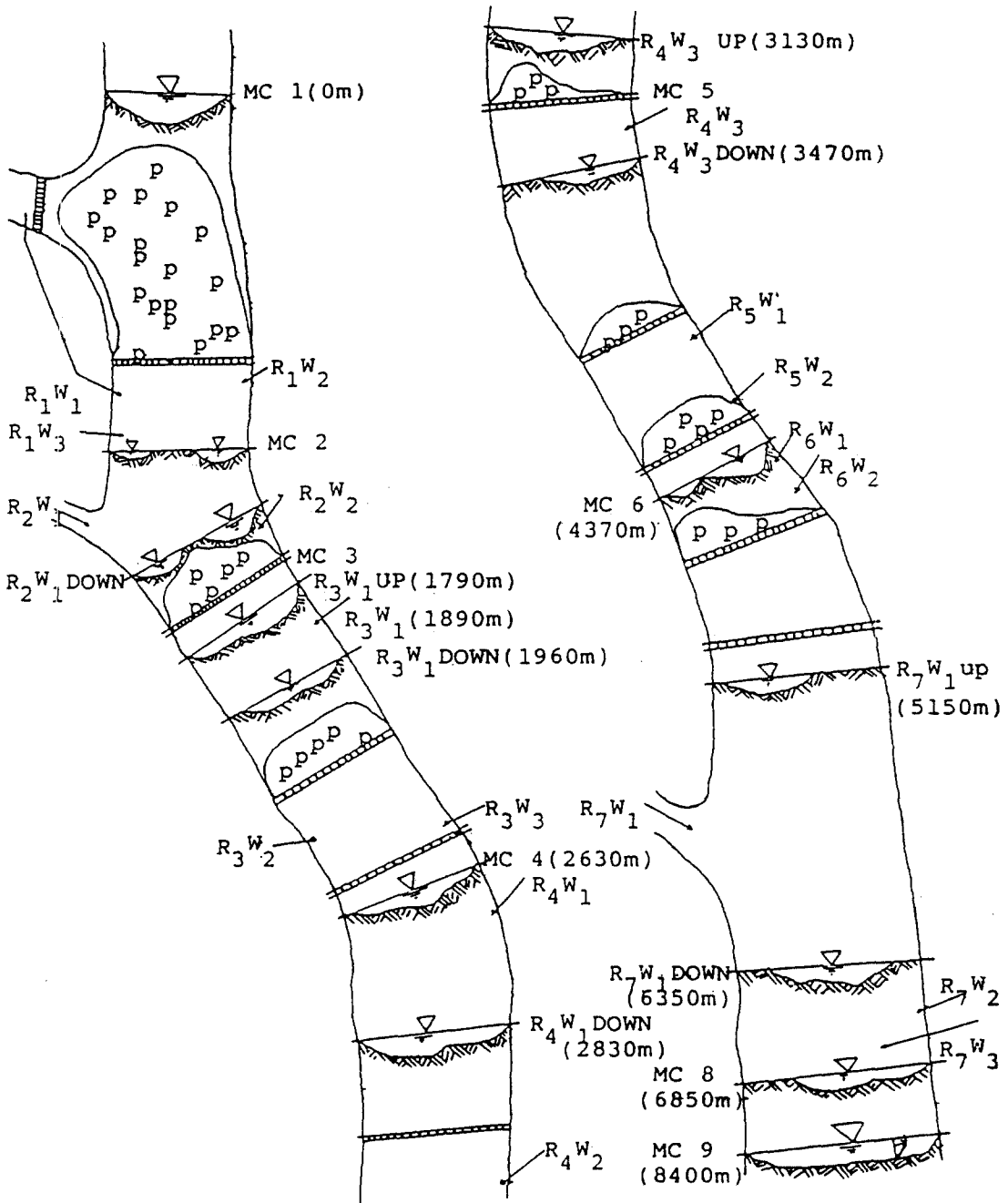
하수 처리 및 제반 수 생활 환경 위생의 가장 기본적인 종합 계획 마저 마련 되지 않은 오염 심화 도시 하천으로서 충청북도 도청 소재지이며, 교육·문화 도시로서 가꾸어 나가기를 희망하고 있는 청주시를 동서로 갈라 흐르는 도시하천이며, 미호천 합류점으로 부터 상류 약 15 km 지점내의 무심천 하류부를 조사 연구 대상 하천 으로 선정 하여, 하천의 유출 특성에 영향을 미치는 유역 면적, 유역의 세부 분할, 하천 평균 경사, 하천 평균 연장, 유역 면적 대 하천 연장, 하천 차수 대 하천수, 하천 연장 대 하천 경사등의 중요 하천 지형태적 특성을 분석 하여 Fig.1, 1.1, 1.2, 1.3등에 나타내었다.

3. 무심천의 수리·수문학적 수질 조사 분석

Fig.1.1 및 2에 나타낸 바와 같이 무심천의 오염 심화 구간은 우수기를 제외한 평상시는 상류로 부터 자연 상태의 흐름이 차단된 상태에서, 도시 생활 하수 만이 하천으로 유입되는 기 현상적인 흐름상태에 놓여있다. 이는 최근 청주시가 부족한 상수도 공급원을 확보하기 위하여 미호천 합류점으로 부터 약 15 km 되는 지점에 상수도 취수용 보를 설치하여 상류로 부터의 자연흐름을 완전히 차단된 데서부터 비롯된다. 또한, 조사 구간내의 전체 하천 시스템 내에서는 3개의 지천이 유입되고 있으나 이곳 또한 평상시는 완전히 가정 오수를 배출하는 개수로 역할 밖에 하지 못하고 있다. 또한, 청주시는 하수도 망이 정비되지 않은채 전근대적인 하수도 시설이 대부분이며 독립 가옥의 정화조 설치율이 아주 저조한 사태이다.

그러므로, 평상시의 생활 하수는 전부 무심천으로 유입되며 일단 무심천으로 유입된 가정 오수는 상류로 부터 차단된 자연수의 흐름이 없이 그대로 하도에 정체 하거나 가정 오수의 유기 부유물이 하도에 침전, 부식, 퇴적되어 수질을 극히 오염 시키고 있다. 여기에서, 하천을 건너다니는 보행자용 징검다리가 8개소 있으며 이는 저수시의 유수를 차단하면서 이곳을 중심으로 Pool 을 형성, 오수의 흐름을 정체 시키는 역할을 하여 무심천의 수질 악화를 가속화 시키고 있다.

따라서, 본 조사 연구에서는 조사구간내의 하도 특성을 나타내는 유수단면적, 하상



p : pool

Fig.2 Channel Bed Characteristics (Cross Sectional Profiles of Occupied Channel) of Musim Cheon during Drought Season

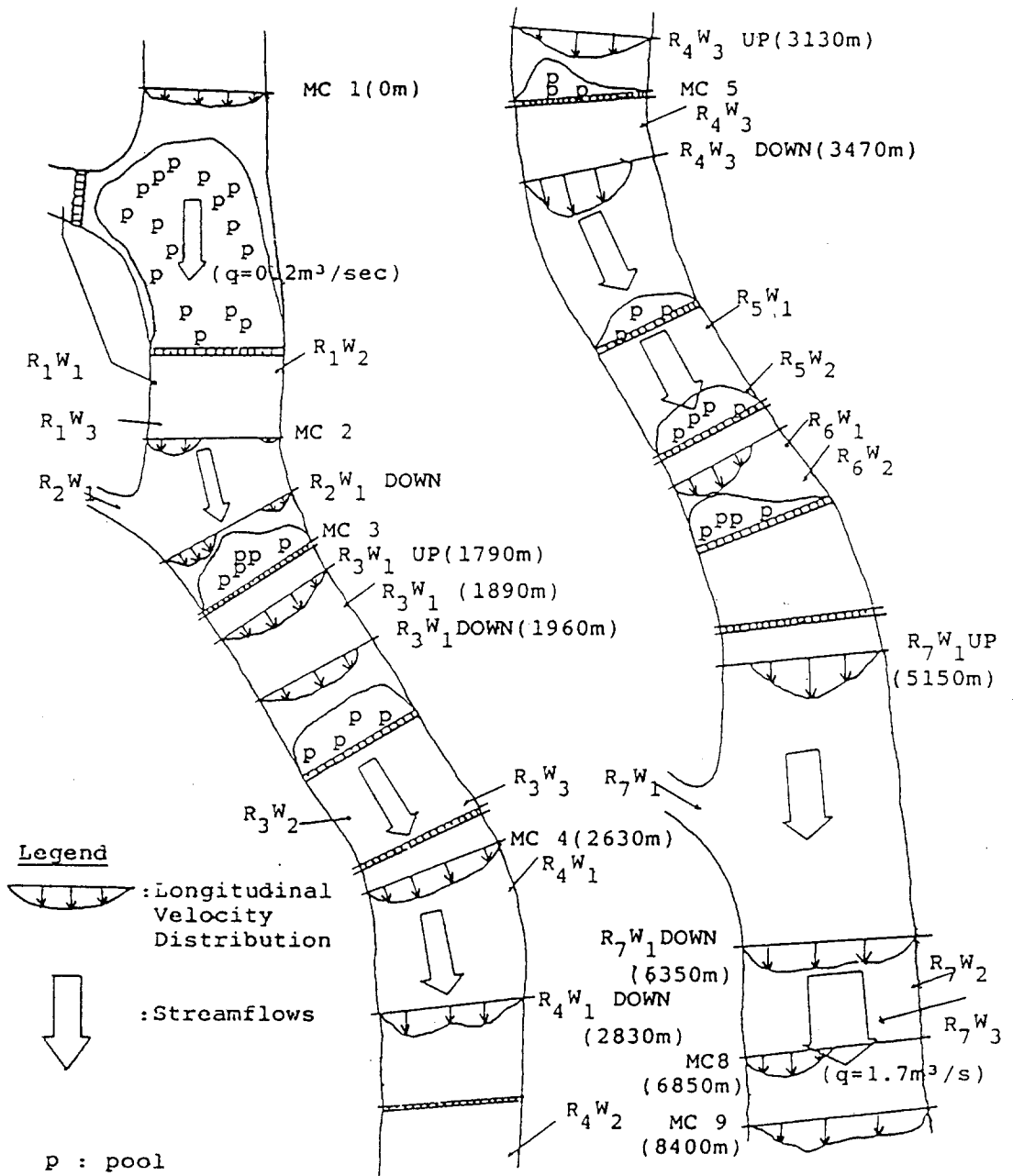


Fig.3 Longitudinal Velocity Distribution and Streamflows in Mu Sim Cheon during Drought Season

물질, 조도계수, 하천 경사등을 조사 분석하고 경심, 수심, 흐름 방향에 대한 종단적 유속 분포, 수심에 따른 수직 유속 분포 등 하도 흐름의 종단적, 횡단면적 변화와 수심변동에 따른 연직 흐름 변화들 조사 하였으며, 이는 하수 방출 유입구를 중심으로 무심천 본류의 상·하지점 (R_3W_1 , R_3W_1 상, R_3W_1 하도)에 걸쳐서 연속적으로 (24시간, 72시간 등) 전 조사 구간에 걸쳐서 조사 분석 하였으며, 이때 하도상의 저질상태, 녹조류 등의 분포상태를 현장 조사하였다. 그리하여 유속 측정과 단면적의 실측 및 수심 측정을 하여 유량을 계산 하였으며, 이러한 작업은 전 구간에 걸쳐서 세밀하고 철저히 조사 되었으며, 유속 분포에 따른 유량, 주 유심선, eddy, pool 영향 등에서 오염물질들이 침전, 정체되어 가는 현상을 조사할 수 있었으며 대체적으로, 수심 0.1 m 이내, 유속 0.15 m/s 이내에서는 많은 침전작용이 있었음을 조사할 수 있었다. 이와같은 수리·수문학적 조사와 동시에 현장 DO 농도(ppm)와 수온 대기온도 등을 측정 하였다. 동시에 실험실 수질 분석을 위한 채수틀 매 주요 유속 측정 지점 및 현장 DO 측정 지점마다 실시하였다.

3.1 수질 분석

1) 하수 오염 부하량

현장 수문 수리적 수질 조사 측정 지점마다 채수한 샘플 (100여개)을 즉시 실험실로 옮겨 이로부터 BOD 농도를 구해 본 결과 청주 시민의 일일 생활 양식에 따라 방출 생활 하수의 정점이 주기적임을 알 수 있었다.

특히 28개 하수 배출구 중 하수량이 가장 많고 고농도인 하수 방출을 하는 주요 하수구인 R_3W_1 , R_4W_3 , R_7W_1 에서 구한 최종(ultimate) BOD 의 최대¹ 최소값은 R_3W_1 에서 1 BOD_u는 1465kg/day (173mg/l),

2 BOD_u는 572kg/day (86mg/l);

R_4W_3 에서 1 BOD_u는 388kg/day (102mg/l),

2 BOD_u는 136kg/day (77mg/l);

R_7W_1 에서 1 BOD_u는 7528kg/day (125mg/l),

2 BOD_u는 1799kg/day (80mg/l)

이며 각 지점의 일일 평균 BOD_u 값은 각각 924 kg/day, 313 kg/day, 4831 kg/day 이었다. 같은 날 시간을 달리하여 구한 평균 BOD 부하량 변화를 Fig.7 에 나타내었다. 측정 기간 동안 BOD_u 농도 범위는 78 mg/l 에서 148 mg/l 이며 하수의 유량 증가로 인해 BOD 부하량도 증가하였다.(표1참조)

2) 용존산소(DO) 농도

하천수의 용존산소는 유수와, 수온, 재폭기, 유달시간(Time of Passage) 등에 의해서 자연 평형상태를 유지하게 된다. 여기에 가정 오수등의 오염물질이 유입되게 되면 용존산소는 결핍되게 되고, 하천수의 수 생태계는 심한 변화를 일으키게 된다. 무심천의 경우에는 평상시 및 갈수기에는 상류로부터의 자연수의 흐름이 완전히 차단 된채 하천 흐름은 가정 오수로 대체 되기 때문에 Fig. 4에 나타난 바와 같이 밤이나 녹조의 영향이 상대적으로 없을때는 전 조사 구간에서 대부분 DO 농도가 5mg/l 이하에 있다. 단지 낮에 태양빛이 강하게 바추고 일조시간이 길게되고 수온이 높아지면 전체 조사 구간 중 90% 이상의 하도 내의 하상에 무성하게 되어 있는 녹조들로부터의 이상 생성된 DO 가 8 - 10 mg/l 이상(밤에는 거의 0.0 - 0.15 mg/l) 측정 되었다.

또한, Fig.5에 나타난 바와 같이 측정 구간내의 6개 대표되는 지점에서의 DO 의 변화는 일일 24시간내의 시간 변화에 따라 그 변화도가 대단히 심하다. 그리하여 86년 4월 - 6월 초순까지 집중적(특히 4월 21 - 23일 사이 72시간 연속 측정, 4월 27일) 현장 측정과 실험실에서 분석을 거쳐 Fig.6과 같이된 조사 구간내의 하도에서의 유입 하수에 따른 DO 의 농도의 변화를 포화 DO 농도와 비교하였다.

3) BOD/DO 분석

매일의 BOD 평균 부하량과 재폭기 계수등을 사용하여 계산 용존산소 농도를 계산 하였으며 이를 Fig.4에서 실측 용존산소 농도와 비교해 본 결과 그 차이가 대단히 심함을 알수있다. 즉, 대부분의 실측 DO 농도는 5 mg/l보다 적은데 비하여 계산 DO 농도는 5 mg/l 을 훨씬 넘는다. 이와 같은 조사 분석 결과로 보아 무심천은 대단히 오염되었음을 알수 있다. (표 1 참조)

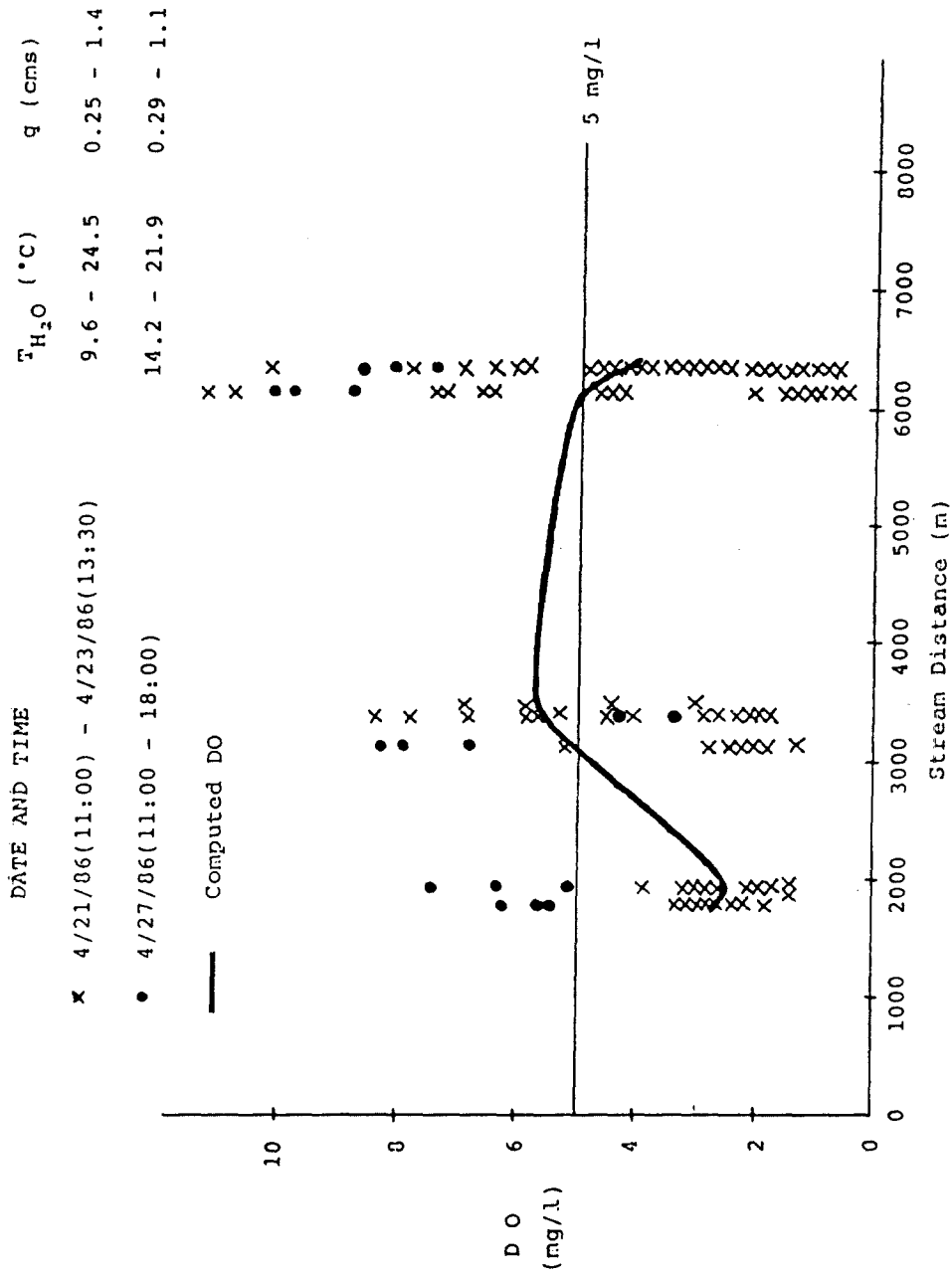


Fig. 4 Measured DO VS Computed DO Along Stream Distance

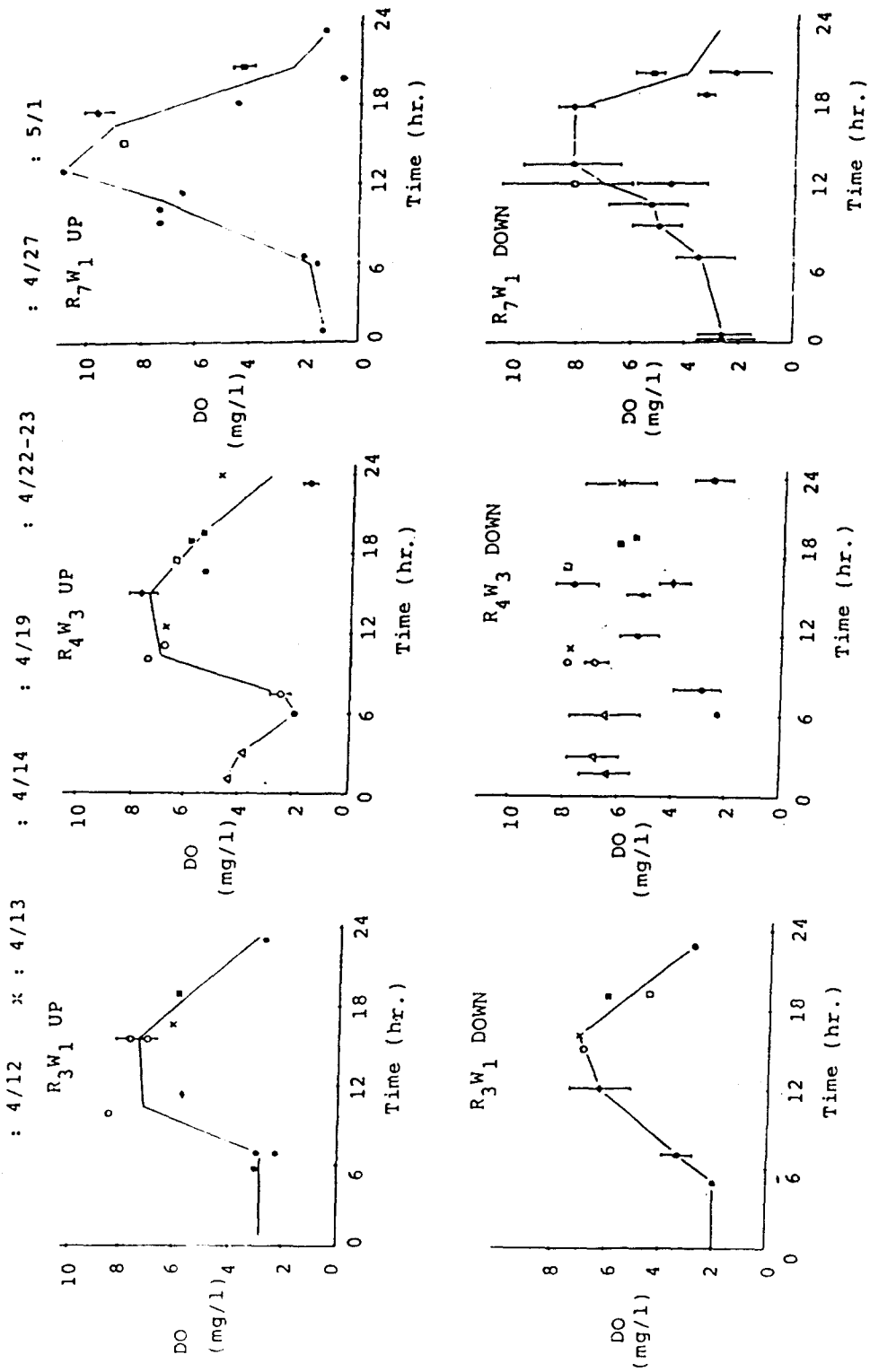


Fig. 5 Diurnal Curves of DO Concentrations at 6 Different Sampling Locations

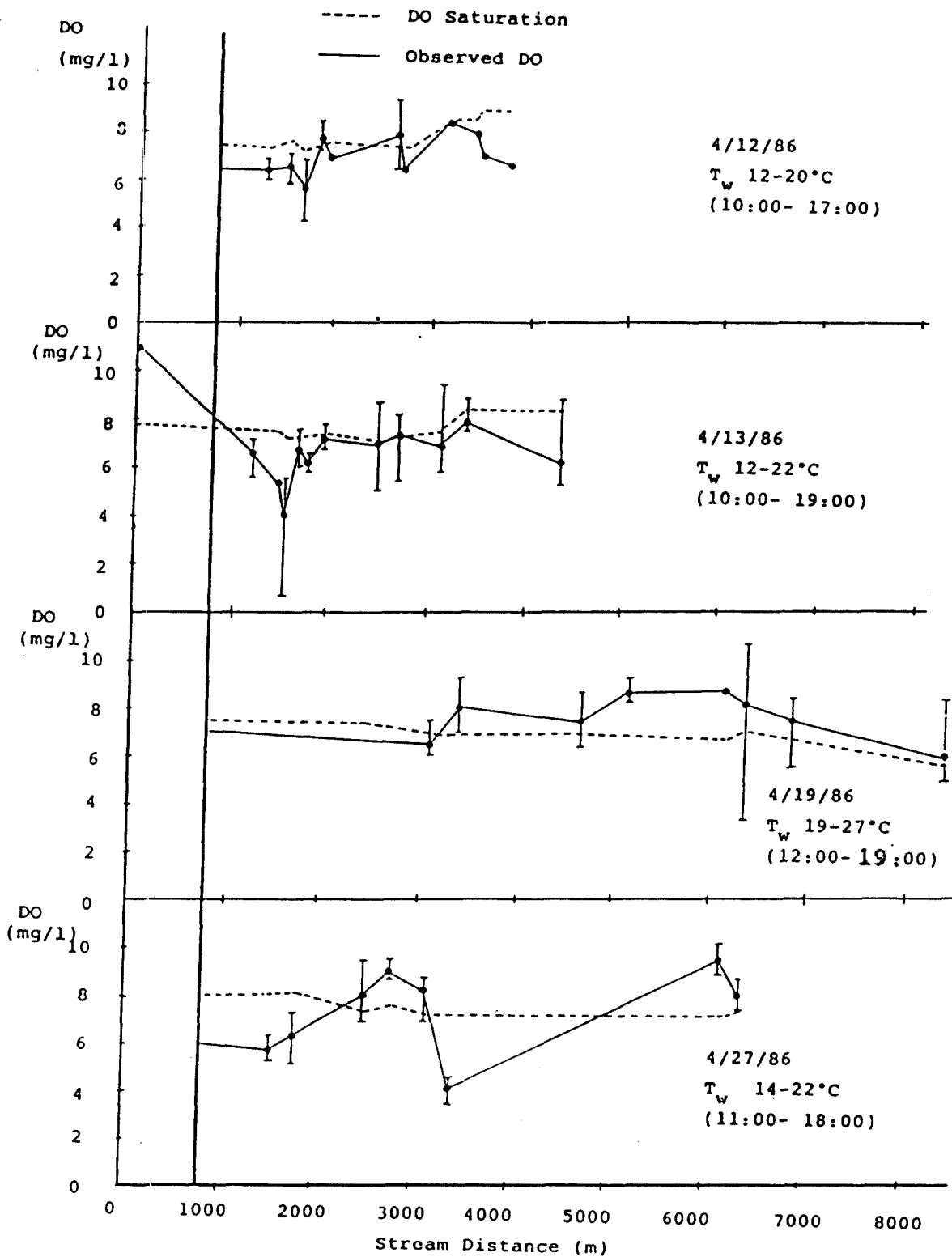


Fig. 6 DO Concentration of the Receiving Stream VS Stream Distance during Drought Flow Period.

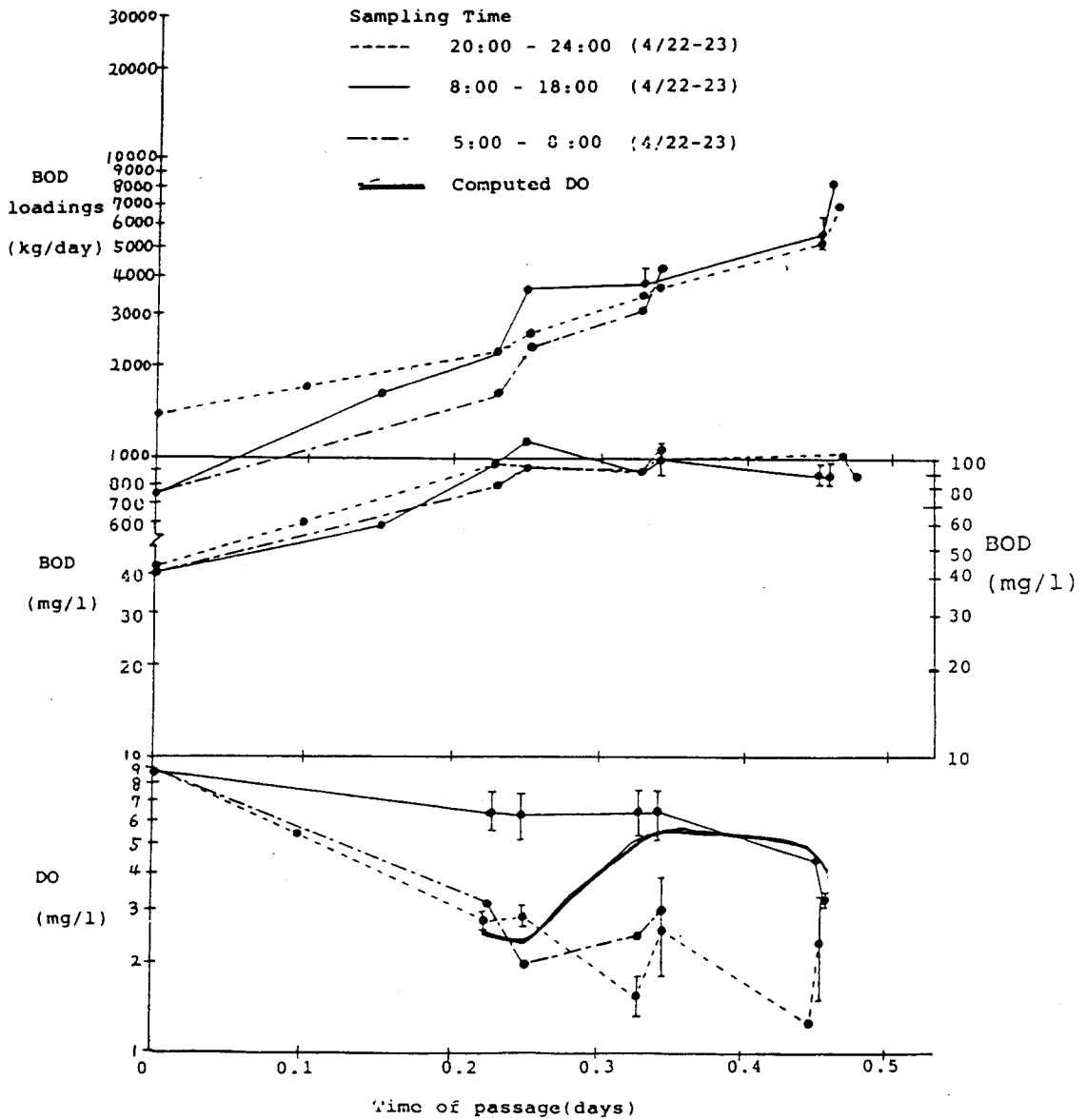


Fig. 7 BOD Loadings, BOD Concentrations and Oxygen Concentrations, Musim Cheon during Drought Flow Period

Table 1. Hydraulic/Hydrological/Stream Characteristics and Water Quality of Musim Cheon During Drought Season (4.1986 - 5.1986)

Station	mean Velocity (m/sec)	Wetted Area (m ²)	Wetted Perimeter (m)	Manning's Coeff.	Hydraul. Radius (m)	Discharge (m ³ /sec)	D.O. (mg/l)	T _a /T _{H₂O} (°C)	BOD (mg/l)	BOD Loading (kg/day)	Time (h.d./m.)
R ₃ ^U ₁ UP	0.063	4.309	31.113	0.112	0.1391	0.2715	2.7, 3.0 2.7	13.5/12.1 12.4	96, 94	2209.1	23:00 21/4
R ₃ ^U ₁	0.409	0.1896	4.535	0.059	0.048	0.078	5.6	13.5/11.0	92, 133	896.3	23:03 21/4
R ₃ ^W ₁ DOWN	0.179	1.81	21.194	0.024	0.085	0.324	3.2, 2.8, 2.7	13.5/12.0 12.8	119, 113, 93, 92	2603.4	22:50 21/4
R ₄ ^U ₃ UP	0.146	3.066	21.222	0.084	0.144	0.448	1.3, 1.8	12.5/11.7	90	3483.6	23:35 21/4
R ₄ ^U ₃	0.342	0.09	3.691	0.028	0.024	0.031	6.4	12.5/12.7	89, 113	238.4	23:49 21/4
R ₄ ^W ₃ DOWN	0.350	1.223	12.301	0.041	0.094	0.428	4.0, 2.0, 1.8	12.5/12.3 11.8	100, 86, 101, 113	3697.9	23:55 21/4
R ₃ ^U ₁ UP	0.058	4.283	31.113	0.122	0.138	0.247	3.1	11.4/10.1	79	1685.9	05:45 22/4
R ₃ ^U ₁	0.406	0.1896	4.535	0.059	0.048	0.077	5.7	11.4/10.4	86	572.1	05:35 22/4
R ₃ ^W ₁ DOWN	0.172	1.8	21.194	0.025	0.085	0.309	2.0	11.4/10.5	93	2482.9	05:05 22/4
R ₃ ^U ₁ UP	0.062	4.286	31.102	0.113	0.138	0.265	2.9, 3.3, 2.8	11.9/11.4 11.9	90	2243.8	07:07 22/4
R ₃ ^U ₁	0.415	0.2369	4.9957	0.0577	0.047	0.098	5.4	11.9/11.0	173	1464.8	07:00 22/4
R ₃ ^W ₁ DOWN	0.336	1.223	12.301	0.041	0.094	0.411	2.3	11.4/10.0	120	3265.9	07:15 22/4
R ₄ ^W ₃ UP	0.146	3.066	21.222	0.084	0.144	0.448	2.3, 2.5, 2.8	9.8/10.3 10.2	91	3522.4	07:30 22/4
R ₄ ^U ₃	0.350	0.10	3.696	0.028	0.027	0.036	4.9	10.2/13.0	117	363.9	07:45 22/4

Table 1. Hydraulic/Hydrological/Stream Characteristics and Water Quality of Musim Cheon During Drought Season (4.1986 - 5.1986)

Station	mean Velocity (m/sec)	X-sect. Area (m ²)	Wetted Perimeter (m)	Manning's Coeff.	Hydraul. Radius (m)	Discharge (m ³ /sec)	D.O. (mg/l)	T _a /T _{H₂O} (°C)	BOD (mg/l)	BOD Loading (kg/day)	Time (h _d .m.)
R ₇ ^U ₁ UP	0.225	2.264	16.211	0.055	0.140	0.509	2.0	11.6/10.1			06:35 22/4
R ₇ ^U ₁	0.406	0.558	9.48	0.021	0.059	0.227	3.7	11.6/10.7			06:40 22/4
R ₇ ^W ₁ DOWN	0.282	2.479	16.044	0.047	0.154	0.699	3.4	11.4/10.3			06:25 22/4
R ₇ ^U ₁ UP	0.23	2.264	16.211	0.054	0.14	0.521	7.4, 7.3, 13.4	15.3/13.8			09:17 22/4
R ₇ ^U ₁	0.558	0.837	9.57	0.019	0.088	0.467	1.8	15.1/13.6	114	4599.8	09:10 22/4
R ₇ ^W ₁ DOWN	0.346	2.711	16.234	0.042	0.167	0.938	6.0, 4.6, 4.1	15.1/12.3			08:47 22/4
R ₇ ^U ₁ UP	0.271	2.682	16.71	0.051	0.161	0.727	4.6, 4.2, 4.5	18.8/19.2	81	5339.1	18:15 22/4
R ₇ ^U ₁	0.559	0.837	9.57	0.019	0.088	0.468	2.2	18.8/14.7	99	4003.1	18:30 22/4
R ₇ ^W ₁ DOWN	0.372	3.052	17.953	0.382	0.17	1.135	3.1, 3.4, 3.5	18.6/18.0	83	8139.3	18:45 22/4
R ₇ ^U ₁ UP	0.284	2.765	16.711	0.049	0.166	0.785	0.5/0.7	13.4/15.6	94	6375.5	20:07 22/4
R ₇ ^W ₁	0.575	0.961	9.61	0.021	0.1	0.553	2.0	13.3/12.7			20:20 22/4
R ₇ ^U ₁ DOWN	0.353	3.601	18.467	0.044	0.195	1.271	0.9, 2.6, 3.2	13.3/15.2	107	11750.1	20:30 22/4
R ₇ ^U ₁ UP	0.262	2.598	16.487	0.052	0.158	0.681	1.5, 1.0, 1.1	10.9/12.7	95	5589.6	23:40 22/4
R ₇ ^U ₁	0.531	0.791	9.55	0.02	0.083	0.42	2.6	13.1	107	3882.8	00:00 23/4

4. 결 어

지금까지 BOD, DO, BOD/DO 의 상관 분석 들로서 오염 심화 도시 하천 에서는 외국에서 개발된 각종 경험 공식들을 그대로 적용하거나 단순히 임의 채수한 샘플로서 수질의 이·화학적 분석 만으로는 하천의 전체 구간내에서의 수질 변화를 나타내기가 어려움을 잘 제시해 주고 있다고 하겠다.

따라서, 본 조사 연구결과 도시하천의 수질 보전을 위해서는 하천 형태학적 근거 위에 수리·수문학적·수질조사 연구를 반드시 여타의 조사와 병행하여 보다 정확한 수자원의 정량적, 정성적 특성을 파악 하여야 된다고 보겠다.

5. 감사의 글

본 조사 연구를 위하여 모든 개인적인 시간과 사정을 초월하여 헌신적으로 밤 낮 없이 오염된 하천 현장과 여타 악 조건의 실험실 분석을 하는 동안 온갖 노력을 다해온 충북대학교 토목공학과 수자원 실험실의 남용희, 이덕수, 정동진, 심규철, 정석영 제군 들에게 깊이 감사하며, 연구방 한재석 군들의 노력에도 감사를 드린다. 특별히 본 연구를 위해 정신적, 경제적으로 아낌없는 이해와 배려를 하여준 가족들 에게도 역시 깊은 감사를 드린다.

REFERENCES

1. Leenderste, J.J. and S.K. Liu, "A 3-D Model for Estuaries and Coastal Seas: Vol.II, Aspects of Computation", Rand Corp., R-1764-OWRT. Santa Barbara, CA. (1975)
2. "A Review of the Mathematical Water Quality Model Qual-2 and Guidance for its Use, NCASI Technical Bulletin No.391 (Dec. 1982)
3. "Workshop Manual for Stream Water Quality Routing Model QUAL2E", U.S.EPA, Environmental Research Laboratory (June 1985)
4. Bennett, J.P. and R.E. Rathbun, "Reaeration in Open-Channel Flow, U.S. Geological Survey Professional Paper 737 (1972)
5. Gaudy, A.F., Jr, "Prediction of Assimilation Capacity in Receiving Streams", Water and Sewage Works, Part I 122 p 62, Part II 122 p 78 (1975)
6. Lee, J.D., Sew. Ind. Wastes, 23 No 2, 164, 1951 in Applied Stream Sanitation, 2nd ed., Velz, D.I., p 161-170, John Wiley & Sons (1984)
7. Whittemore, R.C. and L.C. Brown, "Modifications to the QUAL-2 (SEMCOG) Water Quality Model", Proceedings of Stormwater and Water Quality Model Users Group Meeting April 12-13, 1984, EPA-600/9-85-003 (1985)
8. Velz, C.J., "Applied Stream Sanitation", 2nd ed., John Willy & Sons (1984)
9. R.W. Hamming, "Numerical Methods for Scientists and Engineers 2nd ed., McGraw-Hill Inc. (1973)
10. William W.S., "Dispersion of Mass in Open-Channel Flow" Hydrology Papers 75, CSU (Sep. 1975)
11. Forrest M. Holly, Jr., "Two-Dimensional Mass Dispersion in Rivers", Hydrology Papers 78, CSU (Sep. 1975)
12. Pedro Guerrero-Salazar and Vujica Yevjevich, "Analysis of Drought Characteristics by the Theory of Runs", Hydrology Papers 80, CSU (Sep. 1975)