

수생태계가 온실가스의 발생 및 배출량에 미치는 기초연구

이 재 근

연구진

연구책임

- 이재근 / 도시기반연구실 연구위원

서 문

지금 전 세계는 산업화 이후 지속되고 있는 온실가스의 배출로 인하여 기온이 계속해서 올라가는 기후변화가 진행되고 있다. 이러한 기후변화는 수표면 상승, 생태계 교란, 이상기후 발생 등의 범지구적인 심각한 문제들을 야기 시켜 왔으며, 이러한 지구온난화 문제는 범지구적 차원의 문제임과 동시에 국지적으로도 해결해야 할 문제로 대두되어야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 UNEP를 비롯한 세계 각국은 온실가스 배출의 저감대책을 모색하고자 1997년 교토의정서 이후 많은 노력을 하고 있으며, 정부 간 기후변화패널(IPCC)이 설립되었다.

우리나라에서는 “범지구적 기후변화 대응노력에 동참하고 녹색성장을 통한 저탄소사회 구현(Low Carbon, Green Growth)”이라는 비전으로, 보다 실천적이고 구체적인 기후변화 대응을 운영하고 있다. 이러한 기후변화 대응을 위하여 대전시 또한 온실가스 배출량 산정 및 저감방안 연구 등의 계획을 지속하고 있다. 한편, 기후변화 대응을 위하여 지금까지는 주로 에너지사용 저감, 신재생에너지의 개발, 고효율 전기제품의 개발 등 기술적인 연구를 진행하였지만, 앞으로는 산림 및 하천과 같은 자연환경이 기후변화 대응 및 적응에 미치는 역할도 정리가 필요한 상황이다.

이러한 상황에서, 본 연구에서 제시한 하천의 기후변화 적응에 대한 역할 및 온실가스 저감량 산정을 위한 기초연구는 대전시 하천의 중요성 및 이용방안을 제시하는데 도움이 될 수 있을 것이며, 이번 연구를 수행한 이재근 박사의 노고에 감사를 드린다.

2009. 11.

대전발전연구원장 유 병 로

요약 및 정책건의

■ 연구의 배경 및 필요성

- 산업혁명 후 화석연료 사용의 증가는 막대한 온실가스를 배출시켜, 산업혁명 전 280 ppm에서 현재 380 ppm으로 36% 이상이 증가
- 온실가스 저감대책이 추진되지 않는다면, 지구의 온도조절 능력이 상실되어 기상이변을 가져오며, 육상 및 수생태계의 변화 및 인류 건강에 영향을 끼칠 것으로 예상
- 대전시는 2007년 연평균 기온이 13.0 °C로 1969년에 대비하여 1.8 °C가 증가하였으며, 2065년 이후 심각한 가뭄이 발생할 것으로 예측
- 교토의정서 1차 공약기간(2008~2012년)에는 개발도상국의 지위로 온실가스 저감의무를 면제받았으나, 2005년 기준 온실가스 배출량 세계 9위, OECD 국가 중 온실가스 배출증가율 1위, 세계 경제규모 12위인 우리나라는 온실가스 감축 의무국이 될 가능성이 높음

■ 연구의 목적 및 내용

- 대전시의 갑천을 비롯한 유등천, 대전천, 두계천, 진잠천, 유성천, 탄동천 등의 수생태계가 온실가스를 흡수하는 부하량 산정방법을 제시하고 정량화하고자 함
- 수생태계가 도심 온도 저감에 미치는 영향을 제시하고, 이에 따른 열섬효과 저감이 에너지 사용 절약 및 온실가스 배출저감에 미치는 영향을 제시하고자 함

■ 연구결과

□ 하천의 CO₂ 흡수 및 저감유도량

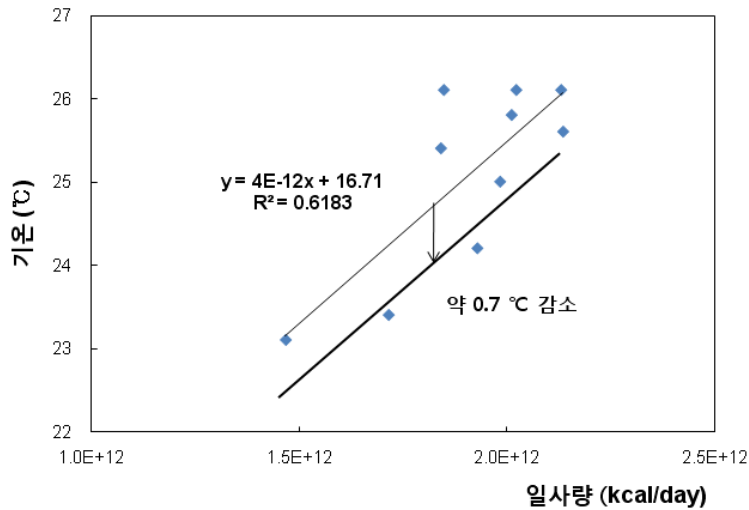
- 식물플랑크톤에 의한 CO₂ 흡수량은 연간 14,630톤으로 2007년 대전시의 연간 CO₂ 총배출량인 857만 톤에 비해 0.17%에 해당
- 대전시 전체 하천 면적의 20%를 피복하는 수생식물의 CO₂ 흡수량 평균은 1,731 tCO₂/yr으로 2007년 대전시에서 배출된 CO₂ 총배출량의 0.02% 임
- 전체 고수부지 면적의 20%에서 수생식물에 의한 CO₂ 흡수량 평균은 2007년 대전시의 CO₂ 총배출량의 0.03%에 해당하는 2,887 tCO₂/yr으로 산정
- 하천에서 증발산에 의해 여름철 온도를 일 최대 약 0.7 °C 저감시킬 수 있으며, 이로 인해 10만 가구가 여름철 냉방온도를 0.7 °C 높인다면 11,842 tCO₂/yr만큼의 CO₂ 배출량을 저감할 수 있는 것으로 나타남

<수생태계에서의 CO₂ 흡수 및 저감유도량>

하천명	지천명	합계	식물 플랑크톤	수생식물 (하천)	수생식물 (고수부지)	에너지저감 (온도저감)
합 계		31,090	14,630	1,731	2,887	11,842
갑천	소 계	21,171	9,999	1,183	1,895	8,094
	갑 천	15,225	7,179	849	1,386	5,811
	두 계 천	3,011	1,446	171	224	1,170
	매 노 천	405	193	23	33	156
	관 평 천	38	15	2	9	12
	덕 진 천	23	10	1	4	8
	법 동 천	24	11	1	3	9
	탄 동 천	283	132	16	28	107
	반 석 천	371	174	21	35	141
	유 성 천	884	415	49	84	336
	화 산 천	487	233	28	37	189
	진 잠 천	388	178	21	45	144
	성 전 천	26	11	1	5	9
유등천	소 계	5,071	2,353	278	536	1,904
	유 등 천	4,329	2,002	237	469	1,621
	과 례 천	39	16	2	8	13
	오 정 천	142	67	8	13	54
	정 생 천	513	247	29	37	200
	금 동 천	33	14	2	6	11
	구 완 천	16	7	1	3	5
대전천	소 계	4,424	2,089	247	397	1,691
	대 전 천	4,061	1,919	227	362	1,553
	대 사 천	22	8	1	6	7
	대 동 천	341	162	19	29	131
주원천	-	248	109	27	24	88
용호천	-	167	68	17	27	55
신동천	-	33	12	3	8	10

□ 증발산에 의한 기온저감 효과

- 지난 10년간 전체 일사량과 평균기온, 증발산열량의 7월 자료를 토대로 대전시의 하천에서 발생하는 증발산 작용을 통해 한여름의 저감 가능한 온도를 산정
- 하천에서 흡수한 증발산 열량만큼 태양복사에너지가 감소하였을 때 변화되는 온도를 산정한 결과, 여름철 일 최대 약 0.7 °C의 온도 저감
- 증발산에 의해 흡수된 대기열만큼 냉방온도를 0.7 °C 높이면 한 가정에서 연간 약 279 kWh의 전기가 절감되고, CO₂는 약 118.3 kgCO₂/yr/가구를 감소



<일사량 변화에 따른 기온 감소(7월)>

□ 하천 주변 기온저감 및 범위

- 기온저감량과 기온저감 영향권 범위는 평균하폭이 127 m인 갑천 1(금강 합류부~범동천 합류부) 구간에서 4.05 °C의 기온저감이 415 m까지 영향을 주는 것으로 나타나 하천 저수로의 폭이 넓을수록, 하천의 면적이 넓을수록 기온 저감량도 증가

<하천에 의한 기온저감 및 범위>

하천명	지천명	평균하폭 (m)	기온저감량 (°C)	기온저감범위 (m)
갑 천	갑 천 1	127.0	4.05	415
	갑 천 2	98.5	2.10	350
	갑 천 3	114.8	2.53	387
	갑 천 4	73.5	3.18	292
	갑 천 5	44.4	1.48	225
	갑 천 6	18.0	0.61	164
	두계천 1	44.0	1.84	224
	두계천 2	2.0	0.33	128
	두계천 3	19.9	0.68	169
	매 노 천	28.8	0.88	189
	관 평 천	2.0	0.34	128
	덕 진 천	2.0	0.33	128
	법 동 천	2.0	0.33	128
	탄 동 천	9.3	0.53	144
	반 석 천	12.6	0.61	152
	유 성 천	22.9	0.92	176
	화 산 천	24.0	0.83	178
	진 잠 천	13.5	0.62	154
	성 전 천	2.0	0.33	128
유등천	유등천 1	82.5	1.91	313
	유등천 2	61.3	2.12	264
	유등천 3	53.5	1.30	246
	과 레 천	2.0	0.34	128
	오 정 천	9.0	0.48	144
	정 생 천	31.4	0.96	195
	금 동 천	2.0	0.33	128
	구 완 천	2.0	0.33	128
대전천	대전천 1	56.8	1.76	254
	대전천 2	29.8	1.43	192
	대 사 천	4.3	0.37	133
	대 동 천	15.5	0.65	159
주원천	-	27.0	0.80	185
용호천	-	6.4	0.44	138
신동천	-	2.0	0.33	128

■ 정책건의

- 하천에서는 플랑크톤과 같은 미생물의 광합성에 의한 탄소흡수 효과를 기대할 수 있으며, 하상 및 고수부지에 조성하는 식물상에 의한 탄소흡수 효과도 얻을 수 있다고 판단됨. 이에, 생태하천을 조성하는데 있어 갈대밭 등의 조성은 조류, 포유류 등의 생활공간의 제공과 동시에 온실가스를 흡수하는 매개체로써 이용할 수 있음. 또한 갈대는 겨울철 사멸에 의한 탄소배출이 있을 수 있으므로, 생태계와의 영향을 고려하여 일정량을 추수하여 재생에너지 사용 등의 자원재순환에 이용할 필요가 있음
- 대전시는 도심 곳곳에 펼쳐져 있는 하천으로 인하여 열섬효과를 줄일 수 있는 인프라를 가지고 있음. 이러한 하천은 수표면적에 따라 0.33~4.05 ℃의 온도저감 효과가 기대되며, 온도 저감범위도 하천으로부터 128~415 m까지 달하는 것으로 산정되었음. 여름철 쾌적한 생활공간 조성을 위하여 하천의 유지유량 증대가 필요하다고 판단됨
- 하천이 도심온도에 미치는 영향은 구축자료가 부족하여 그 효과를 정확하게 정량화하기에 어려움이 있음. 이에 대전시 각 하천에 대한 수표면적의 변화, 증발산량, 하천으로부터 거리에 따른 온도변화 데이터베이스화 등과 같은 모니터링을 지속하여 생태하천조성 및 시민 이용방안에 적용할 수 있을 것으로 판단됨

- 목 차 -

제1장 연구의 배경 및 목적	3
제1절 연구의 배경	3
제2절 연구의 목적	5
제2장 기후변화 관련 연구진행 현황	9
제1절 기후변화 관련 연구 및 진행	9
1. 대전시 기후변화 대응관련 연구	9
2. 기후변화 협약에 관한 논의	11
제2절 기후변화에 미치는 영향 및 전망	14
1. 온실가스가 기후변화에 미치는 영향	14
2. 생태계가 기후변화에 미치는 영향	15
3. 미래 기후변화와 그 영향에 대한 전망	16
제3절 온실가스 저감 및 대응 추진현황	20
1. 우리나라 기후변화 대응 추진현황	20
2. 대전시 기후변화 대응 추진현황	22
제3장 연구방법 및 내용	27
제1절 수생태계의 온실가스 저감 메커니즘 및 기후변화 적응효과	27
1. 수생태계의 온실가스 저감 메커니즘	27
2. IPCC 탄소배출계수(에너지원별)	32
3. 「국가 온실가스 Inventory 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인」	37
4. 수생태계의 기후변화 적응효과	39
5. 수생태계의 기후변화 적응효과의 한계점	40
제2절 대전시 온실가스(CO ₂) 발생량	41
1. 2007년 대전시 온실가스 배출량	41
제3절 연구내용 및 방법	44

제4장 수생태계 현황 및 온실가스 배출과의 관계	47
제1절 대전시 하천현황	47
1. 유역 및 하천 특성	47
2. 유역의 개황	47
3. 하천 수계 현황	49
4. 타 도시와의 비교	55
5. 기상개황	56
제2절 하천의 CO ₂ 흡수	58
1. 미세조류를 이용한 CO ₂ 저감	58
2. 하천에서의 CO ₂ 흡수량	58
제3절 수생식물의 CO ₂ 흡수	62
1. 대전시의 수생식물	62
2. 수질정화기능 수생식물	65
3. 수생식물에 따른 CO ₂ 흡수량	66
4. 수생식물의 부가적 기능	98
제4절 하천 증발산이 에너지 소모에 미치는 영향	100
1. 에너지 수지	100
2. 대전시 하천에서의 증발산열량	102
3. 증발산에 의한 온도 변화 및 에너지 절감효과	109
4. 하천의 열섬효과 저감 능력	114
제5장 결론 및 정책제언	123
제1절 결론	123
1. 온실가스 총저감량 및 비율	123
2. 증발산에 의한 기온저감 효과	124
3. 하천주변 기온저감효과 및 범위의 추정	125
제2절 정책제언	126
참 고 문 헌	128

- 표 목 차 -

〈표 2-1〉 국가별 온실가스 감축목표	12
〈표 2-2〉 대전시 기후변화대응 추진방안	23
〈표 3-1〉 IPCC 탄소배출계수	33
〈표 3-2〉 에너지원별 탄소 및 이산화탄소 배출계수	34
〈표 3-3〉 에너지열량환산기준(총발열량 기준)	35
〈표 3-4〉 에너지열량환산기준(순발열량 기준)	36
〈표 3-5〉 확산성 배출(해빙기) $E_f(\text{CO}_2)_{\text{diff}}(\text{kgCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ day}^{-1})$	38
〈표 3-6〉 2007년 대전시 온실가스 배출량	41
〈표 3-7〉 2007년 대전시 배출원별 온실가스 배출량	43
〈표 4-1〉 대전 하천등급별 현황	49
〈표 4-2〉 대전 하천 분류	50
〈표 4-3〉 대전 하천의 연장 및 면적	54
〈표 4-4〉 도시별 하천연장 비교	55
〈표 4-5〉 월별 평균 기온(1999~2008)	56
〈표 4-6〉 월별 평균 습도(1999~2008)	57
〈표 4-7〉 <i>Actinastrium Hantzschii</i> 의 특징	59
〈표 4-8〉 해조류의 CO_2 흡수량 비교	60
〈표 4-9〉 해조류에 따른 하천에서의 CO_2 흡수량	61
〈표 4-10〉 대전 3대 하천의 주요 수생식물 및 중요 군락	64
〈표 4-11〉 수생식물의 서식면적당 건중량	68
〈표 4-11〉 수생식물의 서식면적당 건중량 (표 계속)	69
〈표 4-12〉 수생식물의 서식면적당 탄소 함량	70
〈표 4-13〉 갑천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	71
〈표 4-14〉 갑천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO_2 함량	71
〈표 4-15〉 두계천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	72
〈표 4-16〉 두계천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO_2 함량	72
〈표 4-17〉 매노천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	73
〈표 4-18〉 매노천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO_2 함량	73

<표 4-19> 관평천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	74
<표 4-20> 관평천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	74
<표 4-21> 덕진천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	75
<표 4-22> 덕진천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	75
<표 4-23> 법동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	76
<표 4-24> 법동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	76
<표 4-25> 탄동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	77
<표 4-26> 탄동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	77
<표 4-27> 반석천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	78
<표 4-28> 반석천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	78
<표 4-29> 유성천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	79
<표 4-30> 유성천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	79
<표 4-31> 화산천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	80
<표 4-32> 화산천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	80
<표 4-33> 진잠천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	81
<표 4-34> 진잠천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	81
<표 4-35> 성전천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	82
<표 4-36> 성전천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	82
<표 4-37> 유등천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	83
<표 4-38> 유등천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	83
<표 4-39> 과례천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	84
<표 4-40> 과례천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	84
<표 4-41> 오정천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	85
<표 4-42> 오정천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	85
<표 4-43> 정생천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	86
<표 4-44> 정생천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	86
<표 4-45> 금동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	87
<표 4-46> 금동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	87
<표 4-47> 구완천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	88
<표 4-48> 구완천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	88
<표 4-49> 대전천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	89

<표 4-50> 대전천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	89
<표 4-51> 대사천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	90
<표 4-52> 대사천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	90
<표 4-53> 대동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	91
<표 4-54> 대동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	91
<표 4-55> 주원천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	92
<표 4-56> 주원천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	92
<표 4-57> 용호천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	93
<표 4-58> 용호천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	93
<표 4-59> 신동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량	94
<표 4-60> 신동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO ₂ 함량	94
<표 4-61> 대전시 하천의 수생식물에 따른 CO ₂ 함량	96
<표 4-62> 대전시 고수부지의 수생식물에 따른 CO ₂ 함량	97
<표 4-63> 대전시 하천의 월별 일최대 증발산량(2008)	104
<표 4-63> 대전시 하천의 월별 일최대 증발산량(2008) (표 계속)	105
<표 4-64> 증발산 환산계수	106
<표 4-65> 대전시 하천의 월별 일최대 증발산열량(2008)	107
<표 4-65> 대전시 하천의 월별 일최대 증발산열량(2008) (표 계속)	108
<표 4-66> 일사량과 증발산열량 비교(2008)	109
<표 4-67> 연도별 일사량과 증발산열량 비교(7월)	112
<표 4-68> 에너지절감 효과 및 CO ₂ 절감량	113
<표 4-69> 하천 구간 범위	115
<표 4-70> 기온저감량 및 기온저감범위	117
<표 5-1> 대전시 하천에서의 온실가스 총저감량	123
<표 5-2> 수생태계에서의 CO ₂ 흡수 및 저감유도량	124

- 그림 목 차 -

[그림 2-1] 시나리오에 따른 연평균강수량의 변화	18
[그림 2-2] 시나리오에 따른 연평균기온의 변화	19
[그림 3-1] 해양의 이산화탄소 흡수	31
[그림 3-2] 배출원별 온실가스 배출량 비중	42
[그림 4-1] 대전 하천의 모식도	51
[그림 4-2] 대전시 하천	52
[그림 4-3] 대전시 하천변 고수부지	53
[그림 4-4] 태양복사와 지구복사에 의한 에너지 수지	101
[그림 4-5] 복사에너지 수지에 따른 일별 기온변화	110
[그림 4-6] 연간 태양복사에너지 유입에 따른 기온의 변화	110
[그림 4-7] 월별 일사량과 기온과의 관계(2008)	111
[그림 4-8] 일사량 변화에 따른 기온감소 효과	112
[그림 4-9] 하천별 온도저감범위	118
[그림 4-10] 기온저감범위 내 주요시설	119
[그림 4-11] 도심 중심부 기온저감범위 내 주요시설	120

제 1 장

연구의 배경 및 목적

제1절 연구의 배경

제2절 연구의 목적

제 1 장 연구의 배경 및 목적

제1절 연구의 배경

산업화과정에서의 화석연료의 급격한 이용 증가는 그 자체의 고갈과 더불어 막대한 온실가스 배출을 초래하여 왔다. 이는 연쇄적으로 지구 기후, 생태계 시스템의 무질서를 증폭시키고 있지만 향후 에너지 수요량은 꾸준히 증가할 것으로 예상되고 있다. 온실가스 배출이 현 속도로 계속 증가한다면 지구 기온이 2100년까지 1.4~5.8 °C 올라갈 것으로 예측되어¹⁾ 세계 기후변화에 대한 적응은 선택이 아닌 필수적인 수단이 되고 있다. 이산화탄소의 과도한 생성과 더불어 숲의 남벌, 초원의 감소, 생태계 다양성의 파괴 같은 이산화탄소 흡수약화 등에 의해 이산화탄소는 점점 증가하게 되었으며, 이로 인해 지구 표면의 평균온도가 점점 상승하고 있다.

지구 온난화의 증거가 늘어나면서 지구촌은 UN을 중심으로 그 대책 마련을 모색하게 되었으며, 1992년 ‘UN 환경개발회의’에서 지구온난화에 대처하기 위한 기후변화협약을 채택한 후, 2004년 기후변화협약이 발효되었다. 그 후 1997년에 교토의정서를 채택하면서 선진국에 대한 온실가스 배출량 감축을 의무화하고, 배출권 거래제도 등 국가별 배출한도를 확정하였다.

현재 선진국뿐만 아니라 개발도상국의 감축의무 필요성이 대두되고 있으며, 세계 10위권의 CO₂ 배출국인 우리나라도 2013년 온실가스 감축의무 대상국으로 선정될 가능성 높은 실정으로 온실가스 저감 및 기후변화 적응 등을 포함한 기후변화협약의 향후 진행추이에 대한 적극적인 대응이 필요하다.

최근 기후변화 대응과 관련하여 많은 노력이 이루어지고 있는데 온실가스 생성을 감축하기 위해 일반 에너지의 효율을 높이거나 풍력, 태양에너지, 신소재와 같이 재생 가능한 에너지 기술을 개발하는 등 온실가스 생성 감축 기술은 발전, 수송, 산업, 건물, 에너지, 폐기물, 지역 등의 영역에 적용될 수 있다.

1) IPCC, Climate Change, 2001

또한 온실가스 흡수를 위해서는 장기적으로 탄소 흡수의 생태시스템의 보완 및 복원 기술 개발도 필요하며, 기본적으로 탄소 과잉배출의 사전예방이 우선이지만 차선택으로 바다 밑이나 지하로 온실가스를 격리하는 온실가스 포획 및 격리 기술 개발도 계속 이루어져야 한다.

대기 중에 CO₂ 저감 연구는 지금까지 대기권을 중심으로 환경공학이 중심이 되어 주로 이루어져 왔으나 최근에 삼림의 CO₂ 흡수원을 강화하기 위해 육상에 삼림 조성을 권장하고 있다. 또한 지구표면의 70.8%를 차지하는 바다에는 연안에 해조류와 대양 전체에 식물플랑크톤이 골고루 서식하면서 육상식물과 동일하게 광합성을 하면서 CO₂를 흡수한다는 이론이 이미 오래전부터 인식되어 왔으나 해조류 및 식물플랑크톤이 연소가스를 대양으로 흡수시킬 수 있는 기술개발 연구는 미진한 상태에 머물고 있다. 따라서 해조류 및 식물플랑크톤, 기타 해양생물(패류 등) 및 수생태계에 의한 이산화탄소 고정 등 기후변화의 인위적 근원인 온실가스 저감에 대한 다양한 접근방식이 필요하며, CO₂ 저감 능력을 최대화시키는 연구개발이 지속적으로 이행되어야 한다.

하천의 수표면은 증발산에 의하여 에너지를 흡수하는 효과를 가지고 있어 열섬 효과를 저감시키는 기능이 있으나, 이를 객관화 하는데 어려움이 있다. 이에 하천이 도시온도에 미치는 영향을 파악하여, 간접적으로 온실가스 저감에 미치는 영향을 파악할 필요가 있다.

제2절 연구의 목적

- 수생태계가 도시여건 변화에 미치는 영향을 나타내어 녹색도시의 중요성을 제시
- 대전시 스스로 기후변화에 대한 대책 마련이 필요하며, 이를 위해 수생태계에 의한 온실가스 부문별 배출량 산정 및 삭감방안 제시
- 녹색성장, 녹색도시를 추구하는 전략과 융화에 맞춰 3대 하천의 생태복원사업 등을 중심으로 한 수생태계가 온실가스 변화량 및 기후변화 적응에 미치는 영향을 정량화하는 방법을 구축
 - ※ 녹색성장을 위한 3대 정책방향²⁾
 - 신성장동력 확충을 통한 국가발전의 이룩, 국민의 삶의 질 향상과 환경개선 달성, 기후변화 대처를 위한 국제사회 노력에 기여
- 대전시 하천의 온실가스 저감량 정량화

2) 환경부, 저탄소 녹색성장 정책 방향, 2009

제 2 장

기후변화 관련 연구진행 현황

제1절 기후변화 관련 연구 및 진행

제2절 기후변화에 미치는 영향 및 전망

제3절 온실가스 저감 및 대응 추진현황

제 2 장 기후변화 관련 연구진행 현황

제1절 기후변화 관련 연구 및 진행

1. 대전시 기후변화 대응관련 연구

현재까지 진행되었던 온실가스에 대한 대응방향이나 실천방안 등에 관한 내용을 살펴보고, 대전시 지역차원의 기후변화 대응관련 연구내용을 제시하고자 한다.

1) 대전시의 대응방향

온실가스 저감을 위한 시민의 역할은 환경에 저부담이 되는 라이프스타일을 확립할 필요성이 있으며, 기업체의 역할은 모든 산업공정에 LCA(Life Cycle Assessment) 도입에 의한 온실가스 저감방안을 구축해야 한다. 또한 대전시는 온실가스 저감을 위한 종합적인 시책을 시민과 기업체의 긴밀한 협조를 도모하면서 추진해야 하며, 온난화 방지에 관한 새로운 기술보급 및 시민과 기업체 활동에 대한 지원이 필요하다.³⁾

2) 시민의 실천방안

온실가스 저감을 위한 시민실천 전략모델을 에너지소비등급이 높은 절약형 전기 제품을 구입하거나, 혹은 단열재와 이중창 등으로 고효율에너지 주택구조로 시공·전환하는 등의 ‘에너지절약(다이어트)형’, 직접적으로 에너지의 사용량을 시민 스스로가 모니터링하는 ‘에너지 사용량 모니터링’ 및 대기 중에 방출된 이산화탄소 등을 산림자원 등에 의해 일정부분 온실가스를 저감시키는 ‘온실가스 흡수원’ 전략으로 나누어 시민의 자발적이고 지속적인 참여를 유도함으로써 기후변화에 대응할 수 있다.⁴⁾

3) 정환도, 온실가스 저감을 위한 대전광역시의 대응방향, 대전발전연구원, 2004

3) 부문별 삭감계획

대전시의 자동차⁵⁾ 및 전력⁶⁾ 부문에 관한 온실가스 배출량을 산정하기 위해 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 제시된 추계방법론을 사용하여 배출량을 구하고 온실가스 삭감계획을 마련하는 마스터플랜을 작성하였다.

(1) 자동차

대전시 자동차부문 에너지소비(2005년 기준)를 바탕으로 대전시 자동차 1대당 연간 에너지 소비와 이산화탄소 배출량을 살펴본 결과, 자동차 1대당 휘발유 637 L와 경유 3,219 L를 소비하였으며, 이로 인한 이산화탄소는 각각 1,466 kg/yr과 8,371 kg/yr을 배출하였다. 더불어 현재 대전시에 등록된 모든 자동차가 10분 정도 공회전을 하지 않을 경우 휘발유 28,270 kL와 경유 9,611 kL가 절약 가능한 것으로 나타났다. 이에 따라 이산화탄소 삭감량은 휘발유부분에서 65,021 t/yr와 경유에서 24,990 t/yr이 삭감 가능한 것으로 나타났다.

(2) 전력

2005년 대전시에서 전력부분의 CO₂ 배출량을 산정한 결과, 에너지경제연구원에서 발표한 배출계수 0.424 tCO₂/MWh를 적용하였을 때 3,075,246 tCO₂를 배출한 것으로 나타났다. 또한 발전방식에 관계없이 생산된 모든 전력량에 대한 배출계수 0.414 tCO₂/MWh를 적용하였을 때 3,006,065 tCO₂를 배출한 것으로 나타났다. 또한 가정 및 서비스업부문에서 대기전력 소비량을 10%(조건 : 목표 대기전력은 1W)로 보았을 경우, 대전시(2005) 이산화탄소 배출량의 5.6%(405,817 tCO₂)를 삭감 가능한 것으로 나타났다. 1가구당 2개의 백열등을 전구형 형광등으로 교체할 경우에는 대전시(2005) 이산화탄소 배출량의 1.2%(89,515 tCO₂)를 삭감 가능하며, 1가구당 1개의 형광등 사용을 줄일 경우, 대전시(2005) 이산화탄소 배출량의 0.9%(66,597 tCO₂)를 삭감 가능한 것으로 나타났다.

4) 정환도, 지역온실가스 저감을 위한 시민실천방안 연구, 대전발전연구원, 2006

5) 정환도, 기후변화협약과 대전시 자동차부문의 기초연구, 대전발전연구원, 2007

6) 정환도, 기후변화협약과 대전시 전력부문의 기초연구, 대전발전연구원, 2008

2. 기후변화 협약에 관한 논의

1) 리우선언 · 의제 21(Agenda 21)

리우회의는 1992년 6월, 브라질 리우데자네이루에서 ‘지구를 건강하게, 미래를 풍요롭게’ 라는 슬로건 아래 각국 대표들과 민간단체들이 지구 환경보전을 위해 실시한 회의로 리우선언은 자연과 인간, 환경보전과 개발의 양립을 목표로 한 리우회의의 기본 원칙을 담은 선언이다.

리우선언의 전문은 ‘환경과 개발에 관한 리우선언은 1972년 스톡홀름에서 채택된 UN 인간환경회의선언을 재확인하고 이를 더욱 확고히 할 것을 추구하여, 모든 국가와 사회의 주요 분야, 그리고 모든 사람들 사이의 새로운 차원의 협력을 창조함으로써 새롭고 공평한 범세계적 동반자 관계를 수립할 목적으로 모두의 이익을 존중하고, 또한 지구의 환경 및 개발 체제의 통합성을 보호하기 위한 국제협정체결을 위하여 노력하며, 우리들의 삶의 터전인 지구의 통합적이며 상호의존적인 성격을 인식하면서 다음과 같이 선언한다.’⁷⁾ 로 시작하여 기후변화협약과 의제 21, 생물다양성보존협약, 삼림원칙 등을 포괄적으로 담은 총 27개 기본 원칙으로 구성되어 있다. 본래 리우선언은 국제현장으로 발표될 예정이었으나 각국의 이해관계가 엇갈려 선언으로 조정되었다.

의제 21은 지구환경보전과 지속가능한 성장을 위한 행동계획을 담은 일종의 지침서이다. 주요 내용은 1개의 전문과 지속가능한 성장을 위한 사회·경제적 과제, 자원의 보존과 관리, 주요 단체들의 역할강화, 집행을 위한 수단 등 총 39개 장으로 구성되어 있으며 2,500여개의 권고내용을 담고 있다. 물, 대기, 토양, 해양, 산림, 생물 종 등 자연자원의 보전과 관리를 위한 지침뿐만 아니라 빈곤퇴치, 건강, 인간정주, 소비행태의 변화 등 사회경제적 이슈까지 폭넓게 다루고 있다.

2) 교토의정서(Kyoto Protocol)⁸⁾

2000년 이후의 온실가스 배출을 감축하기 위한 교토의정서는 1997년 12월 일본

7) 환경부, 리우선언문과 의제 21, 2001

8) 한국과학기술기획평가원, 2007년도 기후변화대응기술 기술영향평가 보고서, 2008

의 교토에서 개최된 기후변화협약 제3차 당사국총회에서 채택되었다. 교토의정서는 법적 구속력을 갖는 국제협약으로서 총 28조와 두 개의 부속서로 구성되었다. 교토의정서에서 가장 중요한 부분은 제1차 공약기간(2008~2012년)에 선진국(부속서 B 38개 국가)의 양적 온실가스 감축목표 설정 및 의무 감축을 실시하는 것이다. 타결된 감축목표는 제1차 공약기간 선진국 전체의 배출총량을 1990년 수준보다 최소 5% 감축하되 각국별로 -8%에서 +10%까지 차별화된 배출량을 규정하였다. 각국의 구체적 감축목표는 EU -8%, 미국 -7%, 일본 -6%, 러시아 및 뉴질랜드 0%, 호주 +8%, 아이슬란드 +10%이다.

한편, 교토의정서에서 새로운 온실가스 감축 의무이행수단으로서 공동이행제도(제6조), 청정개발체제(제12조), 배출권거래제도(제17조) 등 교토의정서 메커니즘(Mechanism of the Kyoto Protocol)이 도입됨으로써, 선진국들은 이를 활용하여 비용 효과적으로 온실가스 감축목표를 달성할 수 있게 되었다.

<표 2-1> 국가별 온실가스 감축목표

대상국가	감축목표율(%)
EU 15개국(독일, 영국, 프랑스, 이탈리아, 네덜란드, 벨기에, 오스트리아, 덴마크, 핀란드, 스페인, 그리스, 아일랜드, 룩셈부르크, 포르투갈, 스웨덴), 불가리아, 체코, 에스토니아, 라트비아, 리히텐슈타인, 리트아니아, 모나코, 루마니아, 슬로바키아, 슬로베니아, 스위스	-8
미국	-7
일본, 캐나다, 헝가리, 폴란드	-6
크로아티아	-5
러시아, 뉴질랜드, 우크라이나	0
노르웨이	+1
호주	+8
아이슬란드	+10

3) 발리 기후변화 총회(Bali Roadmap)

1997년 채택된 교토의정서의 효력은 2012년이면 끝난다. 이에 UN 기후변화회의 당사국총회는 그 이후의 기후변화 대응체제를 결정하는 새 기후변화 협상 내용을 발리로드맵에 담았다. 2007년 12월 인도네시아 발리에서 개최된 유엔기후변화협약 (UNFCCC) 회의는 지난 3년 동안 이루어진 다양한 논의를 수렴하면서 선진국과 중국, 인도, 브라질 등 개발도상국 모두가 참여하는 새로운 협상의 장을 여는 발판을 마련하기 위해 개최된 회의이다. 교토의정서는 부속서 I 국가의 온실가스 배출 삭감을 의무화하는 합의를 채택하였으나, 미국, 중국 등 세계 온실가스 배출의 약 절반 정도를 배출하는 대량배출국이 제외돼 있어, 일부 국가들만이 참여하는 임시적인 협상의 장에 불과하기 때문에 보다 다수의 국가들이 참여할 수 있는 포괄적인 협상의 장을 마련할 필요가 있다는 전 세계적 공감대가 형성되었기 때문이다. 또한 교토의정서가 종료된 직후인 2013년부터 곧바로 새로운 기후변화체제를 가동하기 위해서는 최소한 2009년 혹은 2010년까지 협상을 중요해야만 하는 시간적 제약도 이번 회의를 촉진시킨 이유 중 하나였다.⁹⁾

발리로드맵의 가장 큰 성과는 온실가스 감축의무를 가진 국가가 대폭 늘었다는 점이다. Post 2012 체제에서는 교토의정서 기준을 거부했던 미국을 비롯한 모든 선진국과 개도국까지 온실가스 감축에 동참하였으며, 선진국과 개도국의 참여 아래 기후변화 대응책을 논의하여 협상 규칙을 정의하였다. 또한 기후변화 대응재원 마련방법도 발리로드맵의 주요 논의 대상이었으며, 탄소세 부과 및 탄소배출권 거래시 2%씩 기금을 마련하자는 것이 그 내용이었다. 발리회의 이후 구체적인 감축 목표와 방법은 덴마크 코펜하겐에서 열리는 2009년 15차 기후변화 총회에서 최종결정하기로 하였다.

9) 정성춘, 발리로드맵의 주요 내용과 향후 전망, 대외경제정책연구원, 2007

제2절 기후변화에 미치는 영향 및 전망

1. 온실가스가 기후변화에 미치는 영향

1) 기후변화

기후변화란 현재의 기후가 자연적 요인과 인위적 요인에 의하여 점차 변화하는 것을 의미한다. 즉, 삼림벌채 등에 의하여 자연의 자정능력이 약화되고, 산업발전에 따른 화석연료의 사용량 증가로 인해 인위적으로 발생하는 이산화탄소의 양이 증가됨에 따라 두터운 온실이 형성되어 온실효과가 커졌고, 이로 인하여 지구의 평균 온도가 올라가는 지구 온난화 현상이 나타나고 있는 것이다.¹⁰⁾

2) 저탄소 녹색성장을 위한 온실가스 대응

‘저탄소 녹색성장’이 국가 주요 비전으로 제시됨에 따라 생태계·수질 및 수자원·건강·재난·산업·에너지·사회기반시설 등에 대한 기후변화 위험정도를 평가하고 이를 위한 정부 및 지자체의 대응 및 적응에 관한 종합계획이 수립되었다.^{11),12)}

또한 ‘대국민 인식증진을 위한 교육 및 홍보, 지역사회 기후변화 대책, 영향평가 및 적응대책, 대기 및 교통부문 온실가스 대책’을 기반으로 기후변화 대책을 장기적으로 추진할 필요성이 강조되었다.¹³⁾

배출권 거래제도는 국내적인 저감노력의 효율적 추진과 함께 국제적인 온실가스 배출권 시장에서의 적용능력을 제고할 수 있는 일거양득의 정책수단으로 평가된다. 이에 따라 온실가스 감축목표를 설정하는 방식의 종류·특징·사례·제안분석 및 온실가스 배출권에 대한 각국의 도입 추진 동향과 우리나라 도입에 대한 타당성을 분석하였다.¹⁴⁾

따라서 온실가스의 체계적이고 정확한 관측을 위한 측정정도 관리 및 분석시스

10) 이산화탄소저감 및 처리기술개발사업단, 더워지는 지구, 그 원인과 대책

11) 환경부, 국가 기후변화 대응 종합계획, 2008

12) 환경부, 국가 기후변화 적응 종합계획, 2008

13) 환경부, 기후변화대응 환경부문 종합계획, 2003

14) 환경부, 온실가스 배출저감 목표설정 및 배출권 거래제도 활용방안, 2001

템, 측정능력의 신뢰성을 회복하여 국가적 신임도 및 신뢰성 향상을 도모해야 한다.¹⁵⁾
또한 CO₂ 저감을 위해 주발생원인 에너지 분야의 핵심원천기술을 체계적으로 개발·활용하고 기술 이전을 확립해야 한다.¹⁶⁾

2. 생태계가 기후변화에 미치는 영향

기후변화 영향평가를 활용하여 우리나라를 대상으로 유사한 기후와 지형특성을 분석하여 기후변화에 의한 자연생태계의 변화정도를 파악하였다.¹⁷⁾

또한 기후변화에 따른 생태계 변화 모니터링에 적합한 지표종을 선정하여 생태계의 구조와 기능의 변화현상을 지역별로 중·장기적으로 조사, 연구, 장기적인 환경변화에 대한 생태계의 반응 예측 및 대응전략을 수립하였다.¹⁸⁾

통합영향평가모형 구축을 위한 기초자료의 지속적인 확보 및 적정 SERES 시나리오 설정 및 검토가 필요하며, 광역 및 지역차원의 적응 대책 마련, 모니터링 구축과 동시에 삼림 단절화 근절 및 완충지역 설치 증대와 삼림제거 방지가 필요하다.¹⁹⁾

삼림과 더불어 CO₂ 저감을 위한 인공해조 조성 노력이 지구온난화를 방지하고 온실가스 저감 방안 실적으로 인정됨과 동시에 CDM 흡수원 사업으로 인정됨으로써 CO₂ 배출규제로 인한 국내 산업 피해 예방에 기여하게 된다.²⁰⁾

한편, 일본에서는 규조류를 이용하여 해양의 이산화탄소 흡수량을 조절하는 메커니즘을 규명하고 온실가스 저감에 영향을 주는 정도를 파악하여 이를 발전시키고 있다.²¹⁾

우리나라에서도 1990년대 후반부터 광합성 미생물을 이용한 이산화탄소 제거에 관한 논의가 이루어지고 있으며, 이에 대한 성과로는 수계에서 존재하는 홍색비황 광합성 박테리아를 이용해 Type Strain 미생물보다 분리된 균주들의 이산화탄소 고

15) 기상청, 온실가스 측정 표준 분석기법 개발 및 온실가스 측정시스템 개선, 2007

16) 과학기술부, 온실가스저감 기술개발 : 온실가스저감기술 선진화 연구, 2001

17) 국립환경과학원, 기후변화 민감생태계 평가기법 연구, 2008

18) 환경부, 국가장기생태연구, 2007

19) 한국환경정책·평가연구원, 기후변화에 따른 생태계 영향 평가 및 대응방안 연구 III : 삼림부문을 중심으로, 2002

20) 해양수산부, 해조류를 이용한 온실가스 저감연구사업 타당성 연구, 2006

21) NEDO, 규조류가 해양 이산화탄소 흡수량을 조절하는 메커니즘, 2007

정률이 높게 나타났으며,²²⁾ 미세조류를 이용한 이산화탄소 고정화 기술도 지속적으로 관심을 가지고 연구²³⁾하여 미세조류의 대량배양에 의한 이산화탄소 저감과 동시에 미세조류로부터 고부가 가치의 자원을 생산하여 산업의 발전을 촉진시킬 수 있는 것으로 나타났다.

3. 미래 기후변화와 그 영향에 대한 전망

1) 전세계(IPCC 4차 보고서, 2007)²⁴⁾

IPCC 4차 보고서에서는 대기 중 온실가스의 농도가 안정된다 하더라도, 지구온난화와 해수면 상승은 앞으로 수세기 동안 계속될 것으로 밝혔다. 또한 온난화로 인해 지구의 기온이 2100년까지 1.8~4.0 °C 상승할 것으로 예측하였다.

21세기 중반까지 강수량과 가용 수자원의 연평균 규모는 고위도 지역 및 일부 열대 다습지역에서는 10~40% 증가하는 반면, 중위도의 일부 건조한 지역과 열대 건조지역에서는 10~30% 감소할 것으로 전망되고 있다. 이에 따라 한발지역의 면적이 더욱 확대되는 한편 더욱 빈번하게 발생하는 폭우로 인해 홍수 피해가 증대될 전망이다. 또한 빙하와 눈의 형태로 저장되어 있는 수자원은 금세기 동안 감소되어 물 부족 현상이 심화될 것이다.

지구 평균 기온의 상승이 1.5~2.5 °C를 초과하면 동식물 종의 대략 20~30%는 멸종 위험이 증가할 가능성이 있다. 또한 대기 CO₂ 농도가 증가하면, 생태계의 구조와 기능, 종들의 생태계 상호작용, 종들의 서식범위 이동에 큰 변화가 일어나고 생물다양성과 물과 먹이의 공급 같은 생태계 상품 및 서비스에 현저한 부정적 결과가 생길 것으로 전망되었다.

기후변화와 해수면 상승으로 인해 연안 침식, 산호초 파괴, 맹그로브 숲 파괴와 같은 피해가 발생되며, 수백만 명이 해수면 상승으로 매년 홍수 피해를 입게 될 것

22) 이상섭, 이시진, 유희식, 광합성 미생물을 이용한 이산화탄소 제거에 관한 연구, 대한환경공학회지, 18(2), pp. 149-157, 1996

23) 전선미, 김인혜, 하종명, 이재화, 미세조류를 이용한 이산화탄소 고정화 기술 현황, 한국공업화학회지, 19(2), pp. 145-150, 2008

24) IPCC 4차보고서, 2007

이며, 적응능력이 부족하고 인구가 밀집된 고도가 낮은 지역에 특히 피해가 집중될 것으로 예상되었다.

2) 우리나라

21세기동안 모든 에너지원이 균형적으로 사용된다고 가정한 상태에서 금세기 말 우리나라 평균기온은 20세기말(1971~2000년 평균)보다 4 °C 상승하며, 특히 겨울에 두드러질 전망이다.

20세기말(1971~2000년) 대비 21세기말(2071~2100년) 한반도 연강수량은 17% 증가할 것으로 예상되며,²⁵⁾ 8월과 9월의 강수량 증가가 크게 일어날 것이다. 또한 지역에 따라 가뭄 및 호우 현상과 같은 서로 상반된 강수현상이 심화될 가능성이 높다.

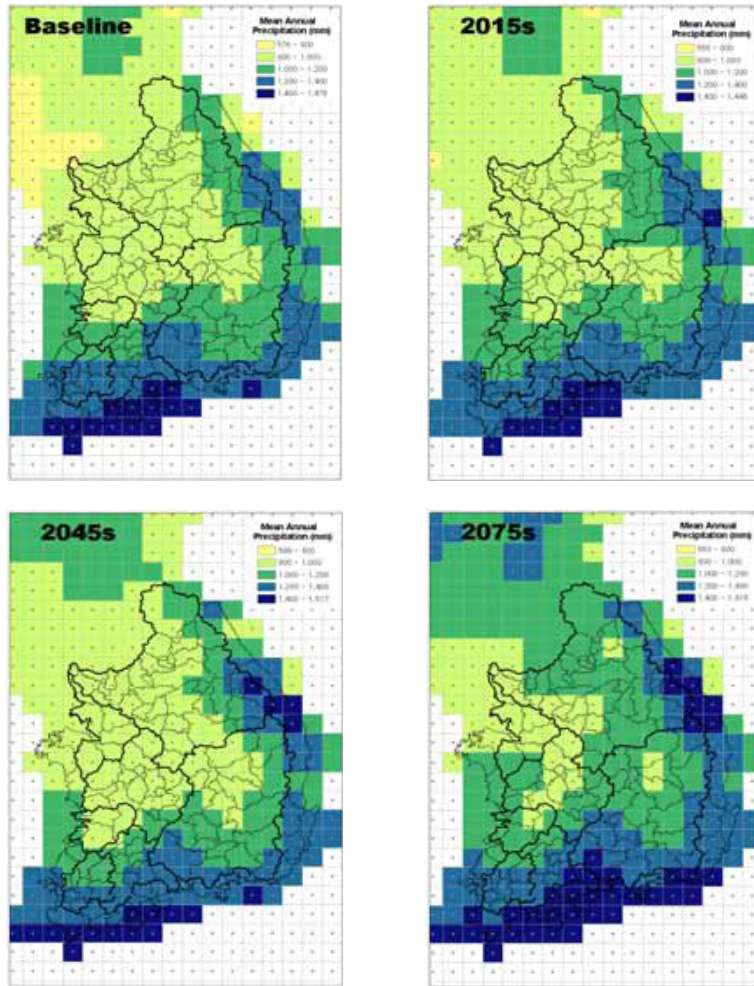
또한 2100년경 약 1 m의 해수면이 상승할 것으로 전망되며, 이로 인해 여의도 면적의 300배가량이 침수되고, 한반도 인구의 2.6%(125만5천명)가 생계에 지장을 줄 우려가 있다.²⁶⁾

지구온난화로 인한 고온과 관련된 기후 지수 발생빈도의 증가와 저온과 관련된 기후 지수 발생빈도의 감소는 미래에 더욱 현저해지며, 영하일수의 감소와 고온일수의 증가에 따라 생장계절기간이 한 달가량 증가할 것으로 예상된다. 극한 강수 현상은 지역에 따라 상이하게 나타날 전망으로 남해안지역과 경기북부지역에서 호우빈도가 증가하는 반면, 충청도 내륙지역과 경상북도에서는 호우빈도가 감소하고 5일 누적 강수량 또한 감소하여 해당지역에서 가뭄이 발생할 경우 심화될 가능성이 높다.

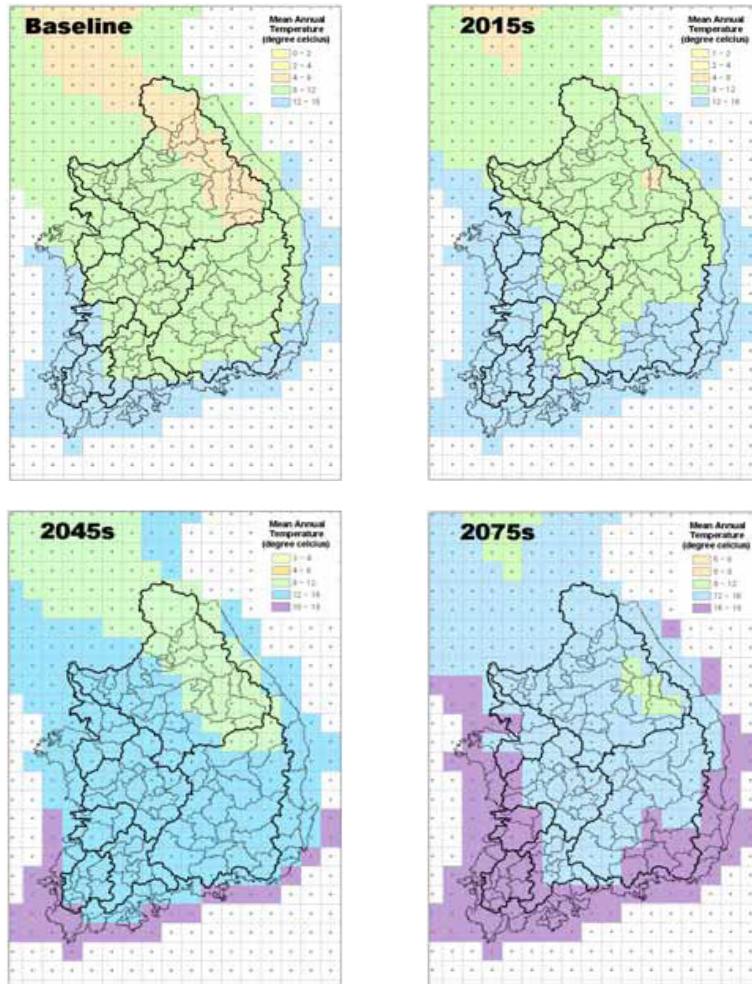
한반도 기온이 4 °C 상승 시, 산지를 제외한 남한지역 대부분이 아열대 기후구로 변화할 가능성이 높다. 그리고 봄과 여름 시작일이 빨라지고, 가을과 겨울 시작일은 늦어져 위도가 낮은 제주도의 경우 여름지속기간이 6개월 이상이 되고, 제주도, 울릉도, 동해안, 남해안 지역의 경우 겨울이 사라질 가능성이 있다.

25) 국립기상연구소, 2007

26) 기후변화대응 종합기본계획, 국무총리실 기후변화대책기획단, 2008



[그림 2-1] 시나리오에 따른 연평균강수량의 변화
(국립기상연구소 IPCC SRES A2)



(그림 2-2) 시나리오에 따른 연평균기온의 변화
(국립기상연구소 IPCC SRES A2)

제3절 온실가스 저감 및 대응 추진현황

1. 우리나라 기후변화 대응 추진현황

우리나라는 지구온난화 방지를 위한 국제적 노력에 동참하고자 1993년 기후변화협약에 가입하였고, 기후변화협약과 관련한 에너지절약 및 온실가스 감축이 국제적 협력뿐만 아니라 우리경제의 장기 발전방향과 일치한다는 인식 아래 1998년부터 3년을 주기로 하며 기후변화협약 종합대책을 수행하고 있다.

1) 제1차 종합대책(1999~2001)

1998년 기후변화협약 범정부대책기구를 구성하고, 이후 국제적으로 기후변화협약 의무이행체제가 구체화될 것을 예상하고, 국내에서도 온실가스 감축노력을 강화시켜 나아갈 필요성이 대두됨에 따라 대책기구를 본격 가동하여 관련 시책을 차질 없이 추진하기로 하였다. 또한 온실가스 배출전망을 토대로, 국제사회에서의 응분의 역할분담과 적정 성장유지를 조화시킬 수 있는 협상전략, 모든 분야에서의 온실가스 배출 저감노력 확산, 온실가스 국제거래 참여 방안 구축 과제를 중심으로 대책 마련 등의 원칙을 토대로 제1차 종합대책을 4개 부문 27개 세부과제로 나누어 수립하고 이를 추진하였다.

2) 제2차 종합대책 (2002~2004)

정부는 2001년 교토의정서 이행방안의 타결 및 우리의 경제·산업 여건변화 등을 반영하여 2002~2004년간 범정부 차원에서 추진해 나갈 기후변화협약 대응 제2차 종합대책을 마련하였다. 기후변화협약 대응 제2차 종합대책의 기본방향은 정보통신·미래첨단기술 등 에너지 저소비형 산업으로의 이행을 가속화시켜 나가면서 산업·수송·가정 등 각 부문에서의 에너지절약 노력을 일층 강화함으로써 「에너지 절약형 경제구조」를 조기에 구축하고자 하였다. 또한 이를 바탕으로 지구온난화 방지를 위한 국제적 노력에 기여해 나가는 한편, 우리의 에너지소비 현실을 온실가스 감축부담 협상에 적극 반영하기로 하였다. 제2차 종합대책이 주요 목표로

삼은 영역은 에너지, 산업, 폐기물, 교통 등의 분야에서 직·간접적으로 온실가스 감축을 실기해 장기적으로 경제 구조를 온실가스 감축형구조로 전환시킬 수 있는 부분과 이를 지원할 수 있는 유무형의 인프라 구축, 그리고 직접적인 협상 역량을 높일 수 있는 부분 등이 해당된다. 즉, 제2차 종합대책에서는 온실가스 감축기술 및 친환경에너지 개발 촉진, 온실가스 감축대책 강화, 국민 참여 및 협력유도 등 3대 부문에 걸쳐 온실가스 감축 세부사업을 추진하게 되었다.

3) 제3차 종합대책(2005~2007)

2005년에는 교토의정서의 발효에 앞서 기후변화협약에 대한 국내외 논의 동향 등을 반영한 기후변화협약 대응 제3차 기후변화 종합대책을 발표하였다. 이 제3차 종합대책은 2004년 10월부터 외교통상부, 산업자원부, 환경부 등 총 19개 부처와 에너지 관리공단, 환경관리공단 등 유관기관이 참여하여 4개월에 걸쳐 완성되었다. 제3차 종합대책에서는 교토의정서의 발효로 본격화될 온실가스 감축압력에 적절히 대응하기 위한 3년간 총 21조 5천억 원을 투자하여 협약이행 기반구축사업, 부문별 온실가스 감축사업, 기후변화 적응기반 구축사업 등 3대 분야 90개 과제를 선정하여 추진하였으며 기존의 1, 2차 종합대책보다는 보다 구체화되어 각 부처별 특성을 최대한 고려한 대책이라고 볼 수 있다. 제3차 종합대책의 추진목표는 지구온난화 문제에 대응하기 위한 국제적 노력에 적극 동참, 온실가스 저배출형 경제구조로의 전환을 위한 기반구축, 그리고 기후변화가 국민생활에 미치는 부정적 영향 최소화 등 세 가지이며, 이를 달성하기 위한 세부사업을 선정하여 추진하고 있다.²⁷⁾

4) 제4차 감축목표 설정(2008~2013)

기후변화 제4차 종합대책은 ‘국제적 위상에 부합하는 온실가스 감축 및 기술개발을 통한 기후변화 영향 최소화’를 비전으로 제시하고 있으며, 제1차 의무공약기간(2008~2012년)과의 조화를 위해 종합대책 이행기간을 기존의 3년에서 5년으로 변경하였다. 또한 기존의 기후변화협약 대응에서 기후변화 대응으로 기본방침을 강화

27)기후변화협약대책위원회, 기후변화협약 대응 : 제3차종합대책, 2005

했으며 협상대응, 온실가스 배출통계, 온실가스 감축, 기후변화 적응, 기술개발 등의 5대 부문으로 정책을 구분하여 사업이 추진된다. 제4차 종합대책의 목표는 온실가스 감축을 위해 부문별 단기 목표 및 중장기 국가 목표를 설정하고 기후변화 적응대책의 수립·시행으로 사회·경제·환경적 피해를 최소화하며, 또한 선진국 수준의 온실가스 감축기술 확보를 하고자 분야별(감축, 적응, 연구개발, 인프라구축, 국제협력) 추진대책을 강화하고자 하였다. 제4차 종합대책은 UNFCCC 및 IPCC 등의 추진체계와 연계하여 감축, 적응, 그리고 연구개발의 3가지 핵심 분야로 나뉘어 중점 추진된다.²⁸⁾

2. 대전시 기후변화 대응 추진현황

1) 실천전략

현재 대전시의 기후변화 대응조직이 다원화되어 분산되어 있어, 업무의 혼선이 발생하고, 중앙정부 사업의 대응이 미비한 상황으로 중앙정부의 녹색뉴딜 정책을 수행하고 대전형 녹색도시 구현을 위해 기후변화대응사업단 또는 녹색도시대응전담(T/F/T)을 신설하여, 대전형 녹색도시를 완성하는 주축이 되도록 해야 한다.²⁹⁾

2) 대응전략

대전시의 기후변화대응 추진방안으로는 우선, 온실가스 흡수원을 증대시키고자 3,000만 그루 나무심기와 숲 가꾸기 사업을 추진하고 있다. 숲이 가득한 대전시를 만들기 위해 2020년까지 총 3,000만 그루의 나무를 심고 가꾸어 기후변화에 대응하여 온실가스 55만 톤 흡수가 가능할 뿐만 아니라 이로 인해 도시 열섬현상도 완화함으로써 시민의 삶의 질을 향상시킬 수 있다.

에너지 분야에서는 신재생 에너지, 청정연료 및 집단에너지 보급을 확대하고 있으며, 환경 및 폐기물 분야에서 매립가스 발전소 설치운영, 폐기물 소각 폐열 재이용, 생활폐기물 지하매설관로 및 열병합 발전 등의 방안이 추진되고 있다.

28) 정환도, 기후변화협약과 대전시 전력부문의 기초연구, 대전발전연구원, 2008

29) 정환도, 「녹색도시 대전」 프로젝트 구체화 방안, 대전발전연구원, 2008

〈표 2-2〉 대전시 기후변화대응 추진방안

단 계	내 용
에너지 분야	<ul style="list-style-type: none"> • 신재생 에너지, 청정연료 및 집단에너지 보급 확대 • 에너지 다소비업체 자발적 협약 체결(43개소) • 공공기관 신재생에너지 설비 설치 의무화조례 시행
수송 분야	<ul style="list-style-type: none"> • 자동차 공회전방지 조례 제정 • 대중교통 이용의 날 지정, 차량 5부제 등 교통수요관리 • 자전거 이용 확대 <ul style="list-style-type: none"> - 자전거 타기 운동 추진, 자전거 도로 확대 설치 • CNG 버스 등 저공해 차량 확대 • 경차보급 확대를 위한 인센티브 제공
환경 및 폐기물 분야	<ul style="list-style-type: none"> • 매립장 LFG CDM 사업 추진 • 폐기물 소각으로 발생된 여열 재활용
녹지 및 생태 분야	<ul style="list-style-type: none"> • 3,000만 그루 나무심기 녹화사업 추진 • 한밭수목원 조성사업 • 하천 생태복원 사업 및 수변공원 조성사업
교육 및 홍보	<ul style="list-style-type: none"> • LED 전광판 이용 에너지 절약 대 시민 홍보 실시

3) 추진방향

대전시에서는 기후변화대응 기본계획을 단기 및 중기계획으로 작성하고, 기후변화 전문조직 및 전문 공무원제도를 도입하였다. 또한 신재생에너지 사업 투자 및 노력을 위해 대전시 환경마케팅을 도입하고, 온실가스 저감을 위한 시민참여 확보 방안을 추진하고 있다.

제 3 장

연구방법 및 내용

제1절 수생태계의 온실가스 저감 메커니즘 및
기후변화 적응효과

제2절 대전시 온실가스(CO₂) 발생량

제3절 연구내용 및 방법

제 3 장 연구방법 및 내용

제1절 수생태계의 온실가스 저감 메커니즘 및 기후변화 적응효과

육상생태계와 수생태계는 생물을 통해 이산화탄소를 고정한 후 이를 식생과 토양 혹은 수저에 저장시키는 흡수원(sink)인 동시에 자연적·인위적으로 그 형태가 변형되거나 파괴될 때 간혀 있던 탄소를 다시 대기 중에 유출시키는 배출원(source)도 될 수 있다.

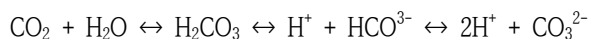
반면, 교토의정서에서는 인위적인 탄소흡수원 활동에 대해서만 탄소배출권을 부여하며 수생태계 등 자연적인 온실가스 흡수량은 배제³⁰⁾하고 있어 적응에 대한 효과를 파악할 필요가 있다.

1. 수생태계의 온실가스 저감 메커니즘

1) 광합성 및 호흡

(1) 광합성

광합성이란 녹색식물이 빛 에너지를 이용하여 물과 이산화탄소를 원료로 포도당과 산소를 만드는 과정을 말한다. 광합성은 엽록체에서 일어나며 무기물로부터 유기물(포도당)을 합성한다. 또한 태양의 빛 에너지를 화학 에너지로 전환하는 과정이다.

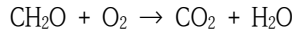


(2) 호흡

호흡은 산소를 이용해 유기물인 포도당을 분해하여 생활에 필요한 에너지(ATP)

30) 이경학, Post-2012체제에 대비한 탄소흡수원 확충대책, 2007

를 얻는 작용으로 광합성의 역반응이라고 할 수 있다. 호흡은 미토콘드리아에서 밤, 낮 구분 없이 계속 일어나며, 호흡에 필요한 물질은 광합성 산물인 포도당과 산소이다.



2) 조류의 CO₂ 흡수

(1) 식물플랑크톤

플랑크톤 중 식물은 해양에서 광합성의 대부분을 담당한다. 식물플랑크톤은 태양 에너지를 고정하며, 이는 다시 해양의 많은 다른 군집으로 이동된다. 육상에서 에너지를 고정하는 풀이나 나무들 없이는 생명이 존재할 수 없듯이 해양에서도 에너지를 고정하는 미소한 플랑크톤 생활을 하는 식물체가 없이는 생명이 존재할 수 없다.

플랑크톤은 전통적으로 여러 가지 크기의 망목을 갖는 네트로 채집되었기 때문에, 크기에 따라 구분되기도 한다. 임의적이기는 하지만 최근에 가장 많이 사용되는 플랑크톤의 분류체계는 7개의 계급이 있다. 거대플랑크톤(megaplankton)은 20 mm 이상의 생물체이고, 대형플랑크톤(macrop plankton)은 2~20 mm, 중형플랑크톤(mesoplankton)은 0.2~2.0 mm, 소형플랑크톤(microp plankton)의 범위는 20~200 μm 이다. 지금까지의 그룹은 표준 플랑크톤 네트로 채집할 수 있으며 집합적으로 네트 플랑크톤(net plankton)이라 불린다. 미세플랑크톤(nanoplankton)은 2~20 μm 크기 범위의 아주 작은 생물들이다. 초미세플랑크톤(pico-plankton)은 0.2~2.0 μm 범위의 미소한 생물들로 주로 박테리아와 남조류(cyanobacteria)로 구성되어 있다. 가장 작은 계급인 극초미세플랑크톤(femto-plankton)은 0.02~0.20 μm 범위의 크기이다.

(2) 먹이사슬에서 식물플랑크톤의 역할

식물플랑크톤은 식물과 마찬가지로 광합성을 통해 에너지를 얻는다. 이를 통해 지구상에 많은 산소를 생산하는데, 이 양은 전체 식물이 생산하는 산소의 1/2에 해당하는 막대한 양이다. 바닷물 속에 녹아있는 무기영양염(질산염, 인산염, 규산염

등), CO₂, 빛에너지를 이용하여 광합성을 함으로써 에너지를 축적하는 식물플랑크톤은 해양의 먹이사슬에서 아주 중요한 역할을 하며, 동물플랑크톤, 저서동물, 작은 어류, 심지어 고래에 이르는 먹이사슬의 근간이 되고 있다.

(3) 식물플랑크톤의 광합성

조류는 광합성하는 독립 영양 생물로, 광합성 색소를 갖고 있다. 이러한 조류는 수중에서 광합성을 통하여 살아가는 식물플랑크톤을 말하며 육상식물처럼 식물플랑크톤은 이산화탄소를 사용하여 산소를 방출하고, 무기염류를 동물이 사용할 수 있는 형태로 바꾼다. 규조류, 쌍편모조류, 코콜리드포어와 같은 규질성 골격으로 구성된 식물플랑크톤은 계절에 따라 양이 변하는데 일조량, 온도, 무기염류가 알맞은 봄과 가을에는 그 양이 증가한다.

3) 수생식물의 CO₂ 흡수

대기 중의 이산화탄소는 수권의 물속에 용해되기도 한다. 수권의 이산화탄소는 수생식물에 의하여 육상식물이 대기권으로부터 이산화탄소를 이용하는 방식과 동일하게 이용된다. 수생식물은 식물 중 물 속에서 살아가는 종류를 말하며, 일반 식물과 달리 물이 많은 환경에서도 생장이 가능하다. 일반적으로 공중에 떠 있는 잎이나 뿌리가 산소를 흡수하여 세포 간극을 통하여 줄기나 뿌리 끝까지 산소를 공급한다. 또한 벼, 갈대, 벼풀 등과 같이 식물체의 일부만이 물속에 있는 식물도 공기를 잎에서 뿌리로 보내는 통로가 있다. 한편, 조류와 같이 완전히 물속에 들어가 있는 식물을 비롯하여 수련 같은 수생식물도 잎이 완전히 물속에 들어가 있을 때는 체표면에 있는 투과성 막으로부터 물속에 녹아 있는 이산화탄소를 흡수한다. 특히, 잎이 수면에 뜨면 육상 식물과 달리 공기에 접하는 부분에만 기공이 발달하므로 대기 중의 이산화탄소를 빨아들여 광합성을 할 수 있다.

수생식물은 육상생활을 하던 식물의 일부가 수중생활에 적응한 것으로 보여지고 있으며, 분류체계에 관계없이 식물의 거의 모든 분류군에 걸쳐 존재한다. 그러므로 명확한 분류학적 근거를 갖는 생물군으로 보기는 어려우며 일반적으로 식물의 생육형에 따라 분류하고 있다. 생육형에 따라 크게 고착성 수생식물과 부표성

수생식물로 분류한다. 고착성 수생식물은 다시 정수식물·부엽식물·침수식물로, 부표성 수생식물은 부유식물로 분류된다.

(1) 정수식물(emergent hydrophytes)

추수식물이라고도 하며, 식물체의 줄기 밑 부분은 수면 아래쪽에 있고, 줄기 위쪽은 대기 중에 나와 있는 식물군으로 주로 물가에 나는 갈대나 부들류, 물옥잠 등이 포함된다. 일반적으로 수심이 낮은 수변부의 가장자리에 서식한다.

(2) 부엽식물(floating-leaved hydrophytes)

물 밑에 뿌리를 내리고 잎은 수면에 떠 있는 부수엽을 발달시키는 종류이다. 연이나 순채, 마름 등이 포함된다.

(3) 침수식물(submerged hydrophytes)

식물체의 대부분이 물속에 잠겨 서식한다. 검정말이, 물수세미, 통발류가 이에 속한다.

(4) 부유식물(free-floating hydrophytes)

잎이나 식물체의 대부분이 수면에 떠 있는 식물군으로 뿌리가 없거나 아주 빈약한 뿌리를 갖는다. 개구리밥, 벌레먹이말 등이 있다.

4) 해양에서의 CO₂ 흡수

(1) 태양에 의한 광합성

태양은 6억 톤의 수소가 매초 헬륨으로 핵융합되어 막대한 양의 에너지를 우주 공간에 방사하고 있다. 태양에서 발생하는 전 에너지의 1/200억 정도가 지구에 도달하며 그 에너지의 47%는 대기 중에 흡수되고 30%는 지표에서 반사되고 23%만 지표에 남게 된다. 이 에너지가 해수의 증발에 주로 사용되고 생물의 광합성 작용에 사용되는 양은 약 1/4000 정도에 지나지 않는다. 여기서 태양에너지를 흡수·이용하는 자연현상이 광합성 작용이다.³¹⁾

31) 김규한(2004), 행성지구학, 시그마프레스

해양에서 이산화탄소의 연간 흐름은 연안생태계에서 대기로의 방출량이 50 GtC/yr, 대기에서 해양표층수로 흡수되는 양이 92 GtC/yr로서 이산화탄소의 흡수량이 42 GtC/yr 정도 높다.

(2) 해양환경에서 미생물의 역할

식물플랑크톤은 바다에서 일차생산자로서 주요한 부분을 차지하기 때문에 생태학적으로 매우 중요하다. 이들은 해양에서 동물플랑크톤과 어류와 같은 모든 소비자를 위한 기본적 먹이를 제공한다. 또한 천해역에서는 식물플랑크톤에 의한 일차생산이 저서동물에 의해 에너지원으로 이용된다.

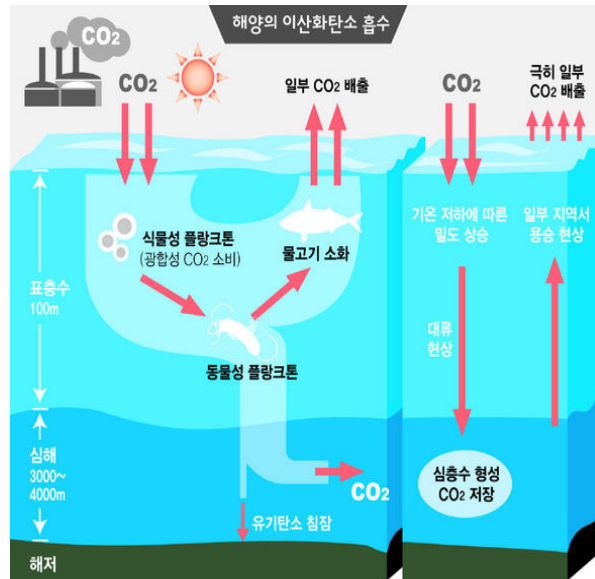
해양에서의 미생물의 가장 중요한 역할 중의 하나는 육상과 마찬가지로 분해자로서의 역할이다. 미생물은 대부분의 물질을 분해하여 성장할 수 있기 때문에 해양에 유입되는 여러 오염물질을 분해함으로써 해양의 자정작용의 중추적 역할을 담당하고 있다.

해양중속영양세균은 해양의 일차 생산량의 30~50%를 분해하는데 이러한 중속영양세균은 분해자일 뿐만 아니라 먹이망에 있어서 중요한 먹이가 된다. 실제로 해양세균의 30~50%는 매일 미세편모조류에 의해 섭식된다. 그러나 각 영양단계에 있어 생체량의 10~15%만 다음 영양단계로 전환되며 나머지 85~90%는 호흡으로 연소된다.

(3) 해양 미생물의 CO₂ 흡수

〔그림 3-1〕은 해양에서 이산화탄소가 흡수되는 과정³²⁾을 나타낸 것으로, 해양 표면층을 통해 대기의 CO₂가 흡수되며, 흡수된 CO₂가 심층으로 전달될 때 CO₂의 지속적인 흡수가 가능하다. 광량이 풍부하고 기온이 상승하는 봄에, 플랑크톤계 조류가 CO₂ 및 영양분을 이용하여 바이오매스를 증가시키며, 조류가 죽으면 발생한 바이오매스의 일부는 해양의 저층부로 가라앉으면서 광합성으로 결합한 탄소를 같이 옮기게 된다.

32) 한겨레신문, 동해는 '온실가스 삼키는 하마', 2007



(그림 3-1) 해양의 이산화탄소 흡수

2. IPCC 탄소배출계수(에너지원별)

1) 탄소배출계수 및 TOE

탄소배출계수는 각 연료별 발열량을 원유 1 kg에 대한 발열량비를 기준으로 한 석유환산계수에 대한 2차 계수를 말하며 41,868 TJ/106 TOE를 적용하여 계수를 환산하였다. tonC/TOE는 에너지원별 IPCC 가이드라인에서 제시하고 있는 용도별 연소율을 적용하였다.

석유환산톤(TOE : Ton of Oil Equivalent)은 국제에너지기구(IEA)에서 정한 발열량 단위로, 각각 다른 종류의 에너지원들을 원유 1톤의 발열량인 10^7 kcal를 기준으로 표준화한 단위로 즉, 석유환산기준은 원유의 발열량(1 kg=10,000 kcal로 환산)을 기준으로 에너지원 및 제품의 발열량을 환산한 값을 말한다.

TOE의 개념은 서로 다른 발열량을 가진 연료끼리 비교하고 통계적 연산을 위하여 단위를 통일하는데 이용된다면, 탄소배출계수는 연료원별로 연소 시 발생하는 이산화탄소가 상이하야 이를 통일하여 계산할 때 이용된다.

〈표 3-1〉 IPCC 탄소배출계수

연료구분		탄소배출계수			
		kgC/GJ	*(ton C/TOE)	(TJ/10 ³ ton)	
액체 화석연료	1차연료	원유	20.00	0.829	-
		천연액화가스(NGL)	17.20	0.630	-
	2차연료	휘발유	18.90	0.783	44.80
		항공가솔린	18.90	0.783	44.59
		등유	19.60	0.812	44.75
		항공유	19.50	0.808	-
		경유	20.20	0.837	43.33
		중유	21.10	0.875	40.19
		LPG	17.20	0.713	47.31
		납사	(20.00)(a)	0.829	45.01
		아스팔트(Bitumen)	22.00	0.912	40.19
		윤활유	(20.00)(a)	0.829	40.19
		Petroleum Coke	27.50	1.140	31.0
		Refinery Feedstock	(20.00)(a)	0.829	44.80
		고체 화석연료	1차연료	무연탄	26.80
원료탄	25.80			1.059	
연료탄	25.80			1.059	
갈탄	27.60			1.132	
Peat	28.90			1.186	
2차연료	BKB & Patent Fuel		(25.80)(a)	1.059	
	Coke Oven/Gas Coke		29.50	1.210	
	Coke Oven Gas		13.0(b)		
	Blast Furnace Gas		66.0(b)		
기체화석연료	LNG(dry)	15.30	0.637		
바이오매스 (CO ₂ 배출량 계산 시 불포함)	고체바이오매스	29.90	1.252		
	액체바이오매스	(20.00)(a)	0.837		
	기체바이오매스	(30.60)(a)	1.281		

〈표 3-2〉 에너지원별 탄소 및 이산화탄소 배출계수

에너지원	탄소배출계수		이산화탄소 배출계수	
전기	0.12	kgC/kWh	0.440	kgCO ₂ /kWh
상수도	0.16	kgC/m ³	0.587	kgCO ₂ /m ³
도시가스	0.64	kgC/m ³	2.347	kgCO ₂ /m ³
LP가스	1.80	kgC/m ³	6.600	kgCO ₂ /m ³
가솔린	0.64	kgC/L	2.347	kgCO ₂ /L
경유	0.72	kgC/L	2.640	kgCO ₂ /L
등유	0.69	kgC/L	2.530	kgCO ₂ /L

2) 에너지열량환산기준

에너지원별 발열량은 종래 사용하던 kcal 단위와 국가표준기본법, 계량에 관한 법률에 따라 표준 단위계(J 단위)를 병행하여 표기한다.

- 단위 표시는 kcal로 하고, MJ(10⁶ J)을 보조단위로 한다.
- 에너지열량환산기준은 각 에너지원별 시료 채취에 의한 실제 측정값을 근거로 발열량을 산정함을 원칙으로 하고, 에너지원별 실측치 또한 환산에 의한 자료를 보조 자료로 삼는다.
- IEA 제출통계, IPCC 온실가스 배출통계 작성 등에는 국제기준이 요구하는 에너지열량환산기준을 적용³³⁾한다.
- 순발열량 기준 계산식은 다음과 같다.

$$\text{순발열량} = \text{연료(L)} \times \text{단위발열량(MJ/L)} \times \text{배출계수(tC/MJ)} \times \text{CO}_2\text{분자량/C원자량}$$

$$\text{순발열량} = \text{연료(L)} \times \text{석유환산계수} \times \text{배출계수(tC/TOE)} \times \text{CO}_2\text{분자량/C원자량}$$

33) 에너지관리공단, 에너지열량 환산기준 적용 매뉴얼, 2006

〈표 3-3〉 에너지열량환산기준(총발열량 기준)

제품	단위	총발열량		석유환산계수
		kcal	MJ 환산	
원 유	kg	10,750	45.0	1.075
휘발유	L	8,000	33.5	0.800
실내등유	L	8,800	36.8	0.880
보일러등유	L	8,950	37.5	0.895
경유	L	9,050	37.9	0.905
B - A 유	L	9,300	38.9	0.930
B - B 유	L	9,650	40.4	0.965
B - C 유	L	9,900	41.4	0.990
프로판	kg	12,050	50.4	1.205
부탄	kg	11,850	49.6	1.185
나프타	L	8,050	33.7	0.805
용제	L	7,950	33.3	0.795
항공유	L	8,750	36.6	0.875
아스팔트	kg	9,900	41.4	0.990
윤활유	L	9,250	38.7	0.925
석유코크	kg	8,100	33.9	0.810
부생연료1호	L	8,850	37.0	0.885
부생연료2호	L	9,700	40.6	0.970
천연가스(LNG)	kg	13,000	54.5	1.300
도시가스(LNG)	Nm ³	10,550	44.2	1.055
도시가스(LPG)	Nm ³	15,000	62.8	1.500
국내무연탄	kg	4,650	19.5	0.465
수입무연탄	kg	6,550	27.4	0.655
유연탄(연료용)	kg	6,200	26.0	0.620
유연탄(원료용)	kg	7,000	29.3	0.700
아역청탄	kg	5,350	22.4	0.535
코크스	kg	7,050	29.5	0.705
전력	kWh	2,150	9.0	0.215
신탄	kg	4,500	18.8	0.450

1. “총발열량”이라 함은 연료의 연소과정에서 발생하는 수증기의 잠열을 포함한 발열량을 말한다.
2. 최종에너지사용기준으로 전력량을 환산하는 경우에는 1 kWh=860 kcal를 적용한다.
3. 에너지원별 실측결과는 50 kcal에서 반올림한다.
4. 석탄의 발열량은 인수식 기준을 적용하여 측정한다.
5. 1 cal=4.1868 J로 한다.
6. MJ=106 J로 한다.
7. Nm³은 0℃, 1기압 상태의 체적을 말한다.

<표 3-4> 에너지열량환산기준(순발열량 기준)

제품	단위	순발열량		석유환산계수
		kcal	MJ 환산	
원 유	kg	10,100	42.3	1.010
휘 발 유	L	7,400	31.0	0.740
실 내 등 유	L	8,200	34.3	0.820
보일러등유	L	8,350	35.0	0.835
경 유	L	8,450	35.4	0.845
B - A 유	L	8,750	36.6	0.875
B - B 유	L	9,100	38.1	0.910
B - C 유	L	9,350	39.1	0.935
프 로 판	kg	11,050	46.3	1.105
부 탄	kg	10,900	45.7	1.090
나 프 타	L	7,450	31.2	0.745
용 제	L	7,350	30.8	0.735
항 공 유	L	8,200	34.3	0.820
아 스 팔 트	kg	8,350	39.1	0.835
운 활 유	L	8,650	36.2	0.865
석 유 코 크	kg	7,850	32.9	0.785
부생연료1호	L	8,350	35.0	0.835
부생연료2호	L	9,200	38.5	0.920
천연가스(LNG)	kg	11,750	49.2	1.175
도시가스(LNG)	Nm ³	9,550	40.0	0.955
도시가스(LPG)	Nm ³	13,800	57.8	1.380
국내무연탄	kg	4,600	19.3	0.460
수입무연탄	kg	6,400	26.8	0.640
유연탄(연료용)	kg	5,950	24.9	0.595
유연탄(원료용)	kg	6,750	28.3	0.675
아 역 청 탄	kg	5,000	20.9	0.500
코 크 스	kg	7,000	29.3	0.700
전 력	kWh	2,150	9.0	0.215
신 탄	kg	-	-	-

1. “순발열량”이라 함은 총발열량에서 수증기의 잠열을 제외한 발열량을 말한다.
2. 최종에너지사용기준으로 전력량을 환산하는 경우에는 1 kWh=860 kcal를 적용한다.
3. 에너지원별 실측결과는 50 kcal에서 반올림한다.
4. 석탄의 발열량은 인수식 기준을 적용하여 측정한다.
5. 1 cal=4.1868 J로 한다.
6. MJ=106 J로 한다.
7. Nm³은 0℃, 1기압 상태의 체적을 말한다.

3. 「국가 온실가스 Inventory 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인」 34)

제4권은 농업부문과 임업부문, 그리고 기타 토지이용 부문(AFOLU)에서 연간 온실가스 인벤토리를 준비하기 위한 안내서이다.

제4권의 부록 2편에서는 ‘영구적인 침수지로 전환된 토지에서 CO₂ 배출량 산정을 위한 가능한 접근법 : 미래의 방법 개발을 위한 근거’에 대한 내용이며, 아래와 같이 식 2a.1과 식 2a.2를 제시하고 있다.

식 2a.1 : 침수지로 전환된 토지에서 배출되는 CO₂ (1단계)

$$CO_2Emissions_{L,Wflood} = P_f \times E_f(CO_2)_{diff} \times A_{flood,total_surface} \times f_A \times 10^{-6}$$

식 2a.2 : 침수지로 전환된 지역에서 배출되는 CO₂ (2단계)

$$CO_2Emissions_{L,Wflood} = (P_f \times E_f(CO_2)_{diff} + (P_i \times E_i(CO_2)_{diff})) \times A_{flood,total_surface} \times f_A \times 10^{-6}$$

$CO_2Emissions_{L,Wflood}$ = 침수지로 전환된 토지로부터의 전체 CO₂ 방출량(GgCO₂ yr⁻¹)

P_f = 얼음이 덮이지 않은 기간, P_i = 얼음이 덮인 기간 (days yr⁻¹)

$E_f(CO_2)_{diff}$ = 얼음이 덮이지 않은 기간 동안 대기와 수체 경계를 통한 평균 일일
확산 배출량 (kgCO₂ ha⁻¹ day⁻¹)

$E_i(CO_2)_{diff}$ = 얼음이 덮인 기간 동안 대기와 수체 경계를 통한 평균 일일 확산 배
출량 (kgCO₂ ha⁻¹ day⁻¹)

$A_{flood,total_surface}$ = 침수지, 호수, 강을 포함한 전체 저수지 표면적 (ha)

f_A = 최근 10년 내 침수된 전체 저수지 지역의 분율

34) 환경부, 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인(제4권: 농업, 산림 및 기타 토지이용), 2006

<표 3-5>는 다양한 기후대에서 측정된 침수지의 CO₂ 배출량을 나타낸다. 측정된 배출량은 배출원의 수표면과 대기 사이와 같은 배출원에서의 알려진 지역적(배출원 내부와 지역 간 변이) 변이, 시간적 변이(건기/우기 및 계절적 변이, 연간 변이)를 모두 포함하였다.

<표 3-5> 확산성 배출(해빙기) $E(\text{CO}_2)_{\text{diff}}(\text{kgCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ day}^{-1})$

기 후	중간값	최소값	최대값
극/아한대 습윤 지역	11.8	0.8	34.5
축고 습한 지역	15.2	4.5	86.3
온난, 습윤 지역	8.1	-10.3	57.5
온난, 건조한 지역	5.2	-12.0	31.0
열대, 습윤 지역	44.9	11.5	90.9
열대, 건조한 지역	39.1	11.7	58.7

4. 수생태계의 기후변화 적응효과

수생태계에서는 직접적인 온실가스 저감은 아니지만 이산화탄소 저감이 대체효과로 나타난다. CO₂ 배출 억제를 위한 하천수의 열 이용, 하천수의 위치에너지 이용, 하천을 이용한 운송수단의 개발 등과 같은 하천에 의한 온실가스 저감 효과가 발생할 수 있다.

1) 에너지 절약

하천을 이용한 운송수단을 개발한다면 수송에너지를 절약하여 온실가스를 저감하는 효과를 낼 수 있고, 하천이 도시하천의 열섬 현상을 방지하는 기능을 해 여름철 도시온도 하강에 따른 에너지사용량 감소효과로 에너지 절약이 가능하다.

2) 다양한 생물종의 서식

하천에 서식하는 다양한 생물종에 의해 하천의 수질 향상 및 시각적 미관을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 도시하천의 생태 체험 현장으로써의 기능 또한 향상된다. 또한 수생태계의 다양한 식물, 동물종의 서식으로 생태 메커니즘의 선순환이 지속될 수 있다.

3) 기후변화로 인한 하천 및 호소수질의 악화 방지

저 갈수기 시 유량감소로 인한 하천의 수질악화 및 수온상승에 따른 조류 증가 등에 대한 적응비용을 감소시키며, 생활하수, 산업폐수 및 가축분뇨 등으로 인해 악화된 하천수질의 처리에 드는 비용 또한 감소하게 된다.

4) 직·간접적인 효과

하천으로 인한 이산화탄소 감소의 직·간접적인 효과로는 여름철 도시 온도의 냉각조절을 통해 열섬현상을 저감시켜 주변지역 기후조절이 가능하여 난방에 사용되는 에너지를 줄일 수 있다. 또한 하천은 열전달 통로의 역할도 하며, 하천의 생태계 및 자정요소에 관한 사람들의 인식도를 변화시킨다.

5. 수생태계의 기후변화 적응효과의 한계점

기후변화와 관련된 수온상승과 수량 변화에 따른 수질악화는 인간 건강과 경제 및 수용력에 영향을 줄 것으로 예측되고 있으며, IPCC 4차 보고서(2007)는 2100년도에 온도가 3℃ 이상 상승할 경우, 전 세계 11~32억 명이 물 부족의 영향을 받을 것으로 조사되어, 기후변화를 고려한 종합적인 수질/수자원 관리 대책 수립이 시급하다. 수생태계의 수생식물, 어류, 식물플랑크톤 등이 온실가스 저감과 관계되어 있음을 고려할 때, 정확한 기후예측과 기후시스템에 대한 이해를 위해서는 수생태계와 기후 간 상호관계뿐 아니라 수생태계의 이산화탄소 배출 및 흡수에 대한 깊이 있는 연구와 이해가 필요하다.

그러나 국내의 경우, 기후변화가 수생태계에 미치는 영향에 관한 연구는 부분적으로 수행되었으나 하천을 통한 온실가스 저감에 관한 선행 연구는 매우 미비한 상태이다. 산림에 비하여 많은 종류의 미생물 및 수생생물로 인해 탄소동화작용으로 인한 CO₂ 고정률을 산정하기에 어려움이 있으며, 수생태계의 전반적인 온실가스 배출량 및 흡수량 산정에 문제점이 많아 수생태계의 온실가스 저감 효과를 객관화할 장치가 필요하다.

제2절 대전시 온실가스(CO₂) 발생량

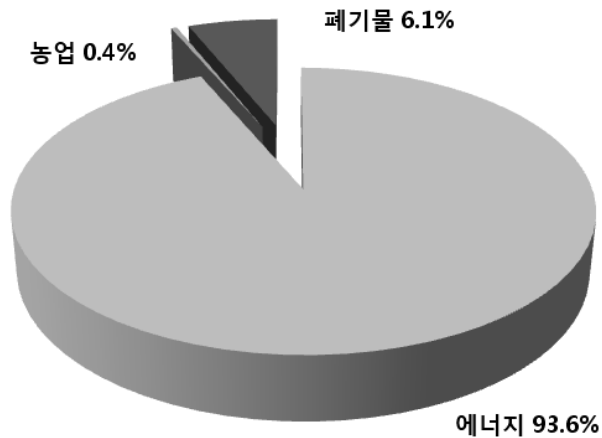
1. 2007년 대전시 온실가스 배출량

〈표 3-6〉 2007년 대전시 온실가스 배출량

배출원	분류체계	온실가스			총계
		tCO ₂	tCH ₄	tN ₂ O	tCO ₂ eq.
에너지	계	7,989,878	1,049.6	35.9	8,023,033
	산업	1,341,219	11.4	2.8	1,342,323
	수송	2,167,141	297.6	20.3	2,177,569
	가정/상업	4,078,252	835.1	12.5	4,099,665
	공공기타	403,266	5.5	0.3	403,476
농업	계		935.0	37.7	31,311
	장내발포		278.8		5,854
	분뇨분해		13.0	6.2	2,184
	벼논경작		643.2		13,508
	농업용 토양			31.5	9,765
토지이용과 산림	계	-452,695			-452,695
	산림바이오매스 증가	-485,891			-485,891
	산림바이오매스 감소	11,644			11,644
	토지용도전환에 따른 배출	1,834			1,834
	토양으로부터의 탄소배출	19,717			19,717
폐기물	계	290,383	9,087.6	123.8	519,593
	쓰레기 매립지		8,307.3		174,453
	폐수처리		780.3	103.5	48,476
	소각	290,383		20.3	296,665
총 배출량		8,280,260	11,072.2	197.3	8,573,937
순 배출량		7,827,565	11,072.2	197.3	8,121,242

대전시의 2007년 온실가스 순배출량은 <표 3-6>과 같이 8,137천 tCO₂eq.을 기록하여 2006년 대비 46천 tCO₂eq.증가하였고, 총배출량은 8,574천 tCO₂eq.로 2006년 대비 1.9% 증가하였다. 에너지부문이 대부분을 차지하여 8,023천 tCO₂eq.을 기록하였고, 농업부문은 메탄이 31천 tCO₂eq.을, 폐기물부문은 520천 tCO₂eq.을 기록하였다.

산정된 배출량은 에너지부문에 탈루성배출량과 산업공정배출량은 포함되어 있지 않기 때문에 이를 고려하면 총배출량이 증가할 것이다. CAPSS의 자료에 의하면 2006년 대전시의 탈루성 배출에 의한 배출량은 5,500 tCH₄으로 전체 메탄 배출량에 비해 적지 않은 양이다. 따라서 탈루성 배출에 의한 배출량은 전체 배출량에 고려를 해야 한다. 반면 CAPSS 자료에 의한 산업공정에서의 온실가스 배출량은 없는 것으로 산출되었다.



[그림 3-2] 배출원별 온실가스 배출량 비중

각 배출원별 배출량 비중을 살펴보면 [그림 3-2]와 같이 에너지부문이 93.6%, 폐기물부문이 6.1%, 농업부문이 0.4%를 기록하고 있다. 이 비중은 산림부문의 흡수량을 고려하지 않은 총배출량 기준으로 에너지부문이 큰 비중을 차지하고 있다.

2005년 우리나라 에너지부문이 84.3%, 산업공정이 11.0%, 농업이 2.5%, 폐기물이 2.2%를 기록하고 있기 때문에 이 비중과 비교할 시 타 지역에 비해 에너지부문이 많은 비중을 차지하고 있다는 것을 알 수 있다. 또한, 폐기물 비중도 6.1%로 높은 비중을 차지하고 있으며 반면, 농업부문은 작은 비중을 차지하고 있다. 이러한 비중은 대전시의 경우에는 산업공정부문에서의 배출량이 없기 때문에 일부 높게 측정되었다.

<표 3-7> 2007년 대전시 배출원별 온실가스 배출량

	에너지	농업	폐기물	합계
배출량(천CO ₂ eq.)	8,023	31	520	8,574

제3절 연구내용 및 방법

본 연구에서는 기후변화 관련 문헌 및 선행연구의 검토를 통해 온실가스 발생 메커니즘을 파악하고, 대전시 수생태계에서의 온실가스 흡수를 통해 발생 온실가스의 저감 가능방안에 대해 연구하고자 하였으며, 연구의 주요 내용은 다음과 같다.

먼저 기후변화와 관련하여 선행연구 및 기후변화 협약에 관한 논의를 검토하고, 온실가스를 저감하기 위해 우리나라와 대전시에서 추진하고 있는 정책 현황을 분석하였다.

다음으로 수생태계의 온실가스 흡수량 산정을 위해 영향을 주는 인자를 수집하고, 수생태계 개별 영향인자들의 CO₂ 흡수 메커니즘을 파악하였다.

다음으로 대전시 하천과 하천변 고수부지 면적을 GIS 프로그램을 사용하여 산출하고, 하천에 서식하는 수생식물 및 식생 현황을 조사하였다. 그리고 탄소를 섭취하는 수생식물의 서식면적당 탄소함유량을 토대로 하천과 고수부지에서 흡수되는 CO₂의 양을 산정하였다.

태양에너지와 CO₂를 이용해서 광합성을 하는 생물은 육상의 산림보다 25배나 더 높은 광합성효율을 지닌 물속의 조류들이 존재한다. 따라서 온실가스의 흡수량 증대를 위해 조류에 의한 이산화탄소 흡수량을 산출하였다.

다음으로 대전시 월평균 온도와 습도 자료만을 이용한 J.R. Eagleman(1967)³⁵의 방법으로 월별 최대 증발산량을 산출하여 수생태계가 직접적으로 저감할 수 있는 온실가스의 양을 파악하였다.

또한 일조량, 수온 등 자연적 기후조건이 온실가스 흡수에 미치는 영향을 조사하기 위하여, 대전시의 시간별 일조량과 기온 자료를 토대로 이들의 상관성을 파악하고, 증발산과의 관계를 분석하였다.

마지막으로 연구를 종합하고 대전시 수생태계 관리의 기후변화 적응 방안을 제시하였다.

35) Eagleman, J. R.(1967), Pan evaporation, potential and actual evapotranspiration, J. Appli. Meteor., 6, pp. 482-488

제 4 장

수생태계 현황 및 온실가스 배출과의 관계

제1절 대전시 하천현황

제2절 하천의 CO₂ 흡수

제3절 수생식물의 CO₂ 흡수

제4절 하천 증발산이 에너지 소모에 미치는 영향

제 4 장 수생태계 현황 및 온실가스 배출과의 관계

제1절 대전시 하천현황

1. 유역 및 하천 특성

대전은 금강의 제1지천이자 국가하천인 갑천, 갑천의 지류인 유등천과 유등천의 지류로 지방1급 하천인 대전천 등 3대 주요 하천을 중심으로 유역을 형성하고 있으며 이들 3대 하천이 도심을 흐르고 있어 도시 어느 곳에서나 하천에 인접하고 있다.

갑천유역은 행정구역상 하류로부터 대전시와 충청남도 금산군 및 논산군에 속하여 있으며 중부권역의 젓줄 기능을 담당하고 있는 금강의 제1지류이다. 또한 본 유역은 남북류하는 유로를 따라 펼쳐져 있는 평야부를 중심으로 하여 주로 동서 양측으로 병립하고 있는 고산준령에 의해 분수령을 이루면서 충청남도의 금산군, 논산군 및 전라북도의 완주군에 접하여 있다.

유등천은 갑천·대전천과 함께 대전시의 3대 하천이며, 유등천 복수교에서 둔산대교까지 9 km 구간은 시민들의 산책로로 활용되고 있으나, 수량부족과 수질오염으로 인해 도심생태하천 조성을 위한 여러 대책이 구상되고 있다.

대전천은 대전의 발원지로서 예전에는 목척교를 중심으로 아름다운 도심경관을 자랑하였는데, 지금은 하상도로, 주차장 건설, 복개로 인하여 강의 약 3/4이 콘크리트로 덮여 있고 시내 중심부를 가로지르는 복개구간에는 상가가 들어서 있다.

2. 유역의 개황

1) 갑천

갑천은 충청북도와 전라북도의 도경계에 있는 표고 EL 877.7 m인 대둔산 기슭에서 발원하여 북서쪽으로 유하하여 대전시계로 유입되며 제1지류인 유등천과 합류

하고 유량을 북쪽으로 바꾸어 대전시 경계를 벗어나 금강과 합류한다. 갑천은 계룡산에서 발원하여 계룡시와 대전시 경계를 따라 흐르는 두계천이 서구 용촌동에서 합류하여 구봉산 남쪽인 흑석동과 괴곡동에서 감입사행하며 가수원동부터는 완만히 흐른다. 강 상류로부터 서쪽에서는 서구 봉곡동에서 금곡천이, 유성구 원신흥동에서 진잠천이, 유성구 어은동에서 유성천이, 유성구 가정동에서 탄동천이, 유성구 용산동에서 관평천이 합류하며, 동쪽에서는 서구 만년동에서 유등천이 합류한다. 갑천 중하류 중 두계천과의 합류점부터 상류 구간은 벌곡천으로 불린다. 갑천유역은 북쪽은 대청댐 하류의 금강본류 유역과 접해 있으며 동쪽 및 남쪽 일부도 역시 금강본류인 대청댐 상류유역과 접해있으며 총 유로연장은 62.8 km로 그 중 직할하천 구간이 35.6 km이며, 유역의 최남단 지점은 갑천의 유역형상을 전체적으로 장방형을 이루고 있으며 하상경사는 유등천 합류후인 하류부 구간이 약 1/1100 정도이며 대전시 구간인 중류부는 1/650, 1/430 로서 비교적 급한 편이다.

2) 유등천

갑천의 제1지류인 유등천의 유역면적은 282.3 km²로 갑천 646.6 km²의 약 43.7%를 차지하고 있으며, 대전천의 유역면적은 87.8 km²로 유등천 유역의 31.1%를 차지하고 있다. 유등천은 금산군 진산면 삼가리의 인대산과 월봉산 기슭에서 발원하여 북향으로 흐르면서 진산면에서 좌안의 지류가 합류되고, 복수면에서 우안의 지류가 합류되고 또 좌안의 지방천과 합류되어 대전시계로 유입된다. 대전시계로 유입된 물은 우안의 정생천과 합류되어 흐르다가 윗말 지점부터 도시하천으로 되어 흐르며, 삼천리교 지점에서 우안의 대전천과 합류되어 흐르다가 갑천에 유입되는 유로연장 47.9 km의 하천으로 유역의 형상계수는 0.12로써 장방형이다.

3) 대전천

유등천의 제1지류인 대전천 유역은 전체 면적 87.82 km² 중 동구 83%, 중구 14%, 대덕구 3%를 차지하고 있다. 유역 내 이수 현황은 생활용수와 공업용수는 대청호로부터 공급받으며, 농업용수는 하천의 표류수를 이용하고 있다. 대전천은 대전시 동구 하소동과 금산군 복수면 및 추부면의 경계인 만인산(EL. 537.1 m)에서 발원하

여 서쪽으로 유하하면서 도시화 밀도가 가장 높은 도심지를 관통하여 유등천에 유입하는 유로연장 24.0 km의 하천이다. 대전천의 하상 경사는 1/380~1/65로서 매우 급하며, 유역 면적이 작고 하상계수가 커서 대전천은 여름철 우기에만 비교적 많은 유량이 흐르며, 그 밖에는 거의 유량이 흐르지 않는 하천이다. 또한 홍수 시에는 홍수도달시간이 짧기 때문에 홍수관리의 문제와 갈수기 수질 관리의 문제를 동시에 지니고 있다. 도심지를 통하는 구간은 거의 하천 개수가 완료되었으며, 목척교 상하류는 복개되어 홍명 상가와 중앙 데파트로 개발되어 있으며, 하천 고수부지의 상당 부분은 하상 주차장으로 개발되어 있다. 또한 하상은 차집관거가 매설되어 있어 갈수기에 시가지로부터의 오수와 우수는 모두 차집관거로 유입되어 하수 처리장으로 유송된다. 이와 같이 대전천은 고수부지의 많은 부분이 하상 주차장으로 개발되어 녹지공간이 부족하고, 갈수기에 하천의 유량이 부족하기 때문에 시민의 휴식 공간으로 제공하기에는 아쉬움이 남아 있다.

3. 하천 수계 현황

대전시에는 금강, 갑천, 유등천 등 국가하천 3개와 지방1급 하천 1개, 그리고 지방2급 하천 26개가 있으며, 총 하천연장은 213.9 km에 달한다. 이 중 갑천, 유등천, 대전천 등 3대 하천이 도심을 관통하고 있고, 대청호가 주변에 위치하고 있어 타 도시에 비해 풍부한 수자원을 보유하고 있다. 대전시의 하천등급별 현황은 <표 4-1>과 같으며 <표 4-2>³⁶⁾는 대전시 하천의 분류를 나타내었다.

<표 4-1> 대전 하천등급별 현황

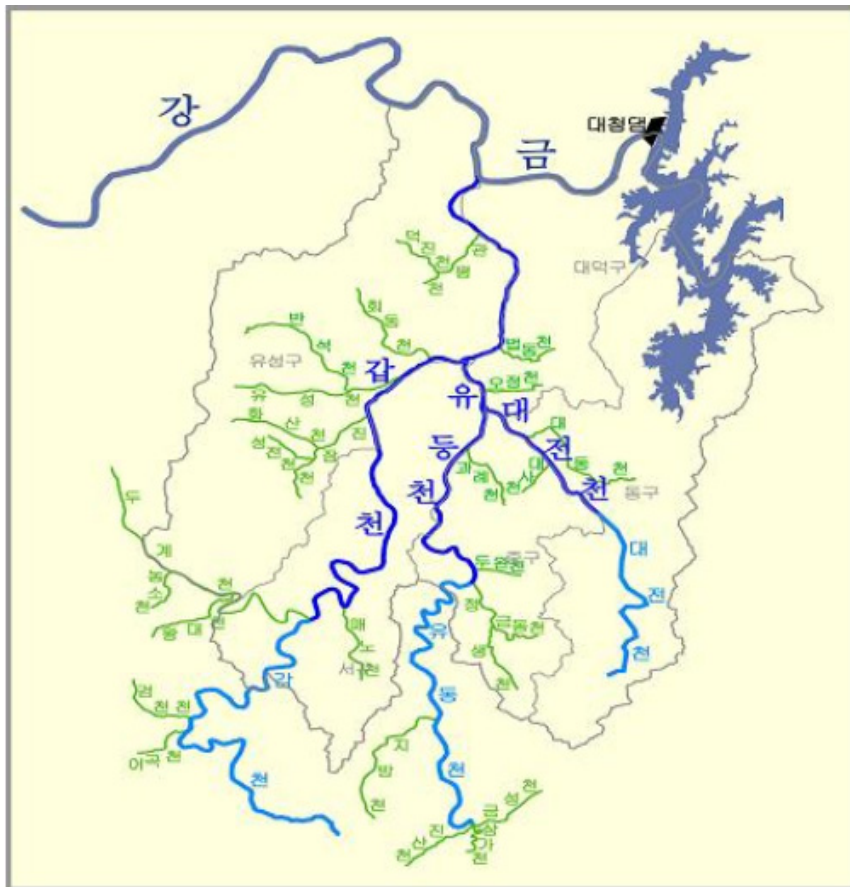
구분	하천수 (개)	하천연장 (km)	비고
계	30	213.9	
국가하천	3	83.2	금강, 갑천, 유등천
지방1급하천	1	7.7	대전천
지방2급하천	26	123.0	두계천 외 25개소

36) 국토해양부, 「한국하천열람」, 2007

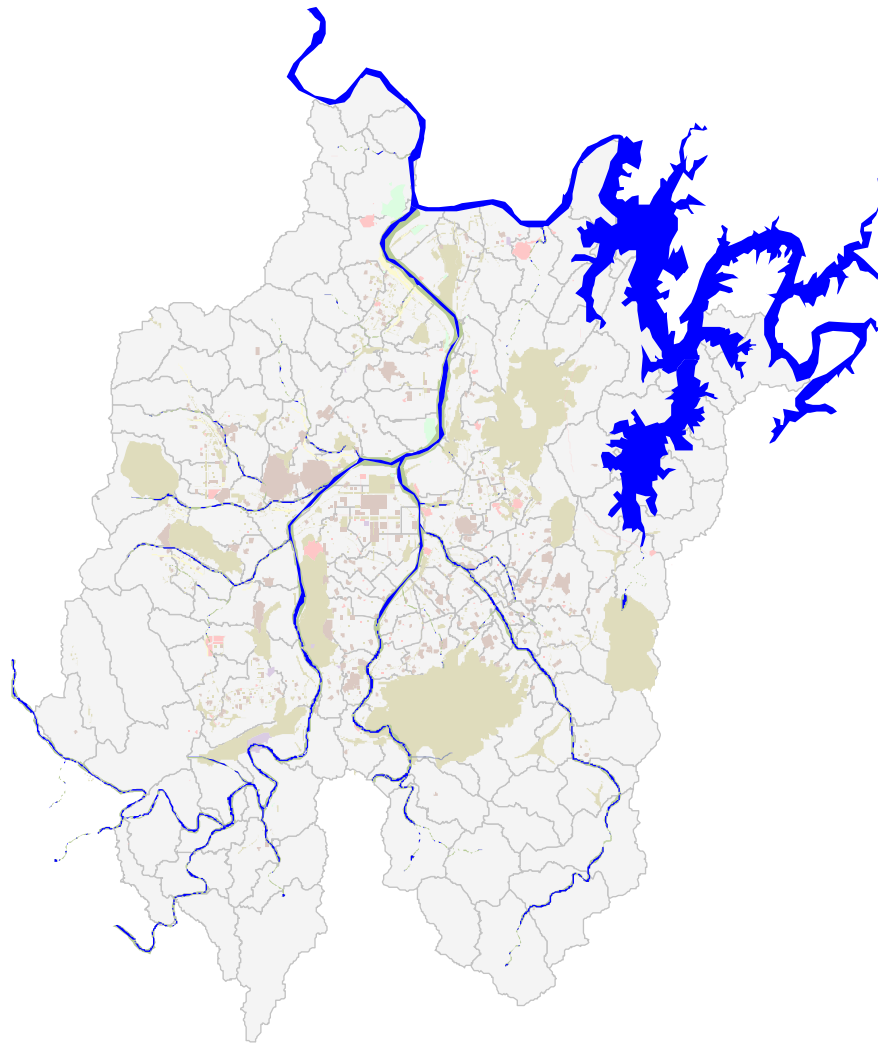
<표 4-2> 대전 하천 분류

하천명	유수의 계통 (수계)					하천 등급
	분류	제1지류	제2지류	제3지류	제4지류	
금 강	금강					국가
갑 천	금강	갑천				국가
갑 천	금강	갑천				지방2
두계천	금강	갑천	두계천			지방2
매노천	금강	갑천	매노천			지방2
법동천	금강	갑천	법동천			지방2
탄동천	금강	갑천	탄동천			지방2
유성천	금강	갑천	유성천			지방2
반석천	금강	갑천	유성천	반석천		지방2
관평천	금강	갑천	관평천			지방2
덕진천	금강	갑천	관평천	덕진천		지방2
진잠천	금강	갑천	진잠천			지방2
성전천	금강	갑천	진잠천	성전천		지방2
화산천	금강	갑천	진잠천	화산천		지방2
유등천	금강	갑천	유등천			국가
구완천	금강	갑천	유등천	구완천		지방2
과례천	금강	갑천	유등천	과례천		지방2
오정천	금강	갑천	유등천	오정천		지방2
정생천	금강	갑천	유등천	정생천		지방2
금동천	금강	갑천	유등천	정생천	금동천	지방2
대전천	금강	갑천	유등천	대전천		지방1
대전천	금강	갑천	유등천	대전천		지방2
대사천	금강	갑천	유등천	대전천	대사천	지방2
대동천	금강	갑천	유등천	대전천	대동천	지방2
주원천	금강	주원천				지방2
용호천	금강	용호천				지방2
신동천	금강	신동천				지방2

〔그림 4-1〕은 대전시 하천의 모식도이며, 하천의 수면적과 하천변 고수부지 면적은 Arcview를 이용한 GIS 작업으로 구하였다. <표 4-3>에서와 같이 갑천유역의 전체 하천 수면적은 약 5.0 km², 고수부지의 면적은 약 6.5 km²로 3대 하천 중 가장 많은 부분을 차지하였으며, 유등천은 약 1.2 km²의 수면적과 약 1.8 km²의 고수부지면적, 대전천의 수면적은 1.0 km², 고수부지면적은 1.4 km²이다. 대전시 전체 수면적과 고수부지면적 중 갑천이 차지하는 비율은 68%, 66%이며 유등천은 16%, 19%, 대전천은 각각 14%와 14%이다.



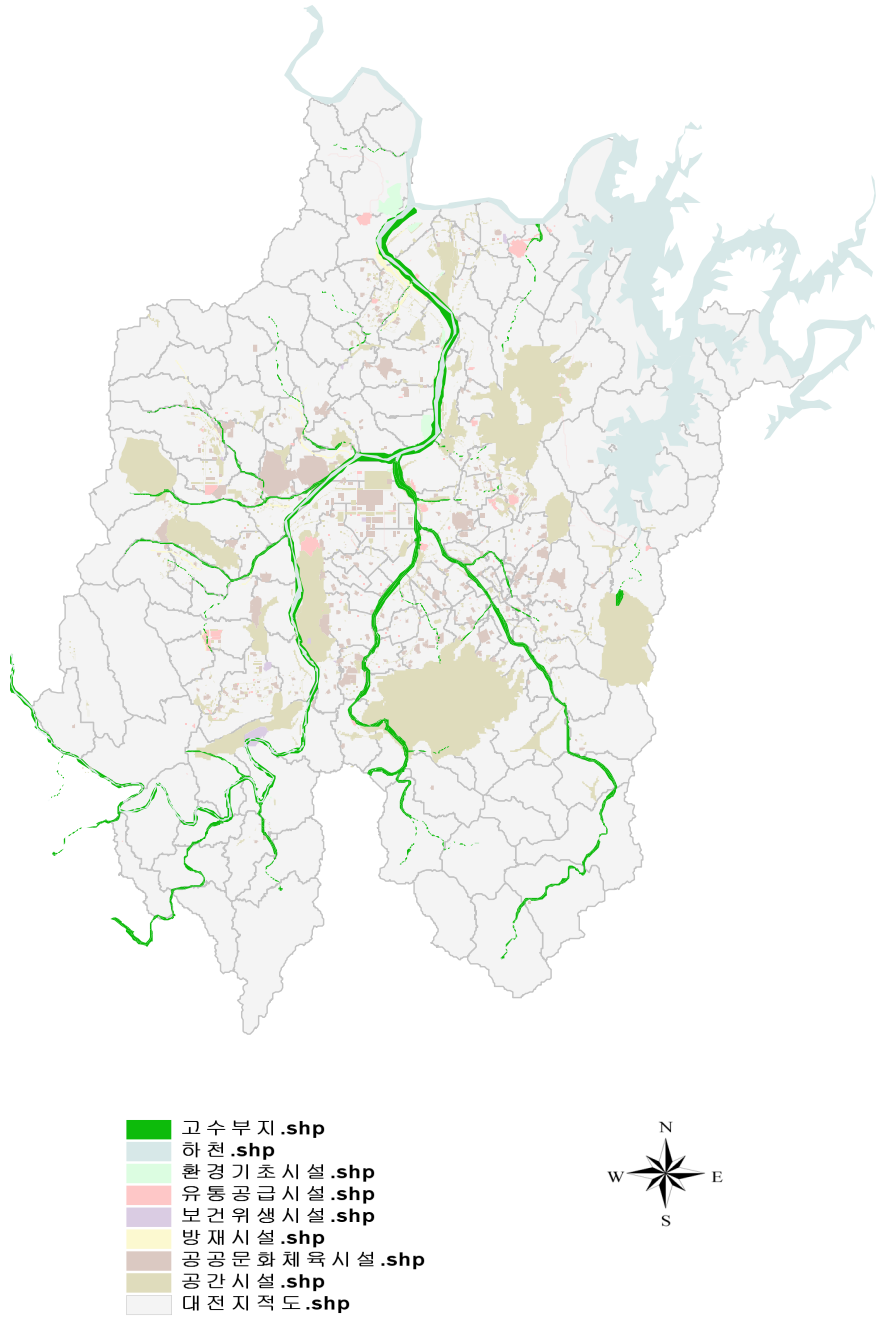
〔그림 4-1〕 대전 하천의 모식도



- 하천.shp
- 고수부지.shp
- 환경기초시설.shp
- 유통공급시설.shp
- 보건위생시설.shp
- 방재시설.shp
- 공공문화체육시설.shp
- 공간시설.shp
- 대전지적도.shp



[그림 4-2] 대전시 하천



(그림 4-3) 대전시 하천변 고수부지

〈표 4-3〉 대전 하천의 연장 및 면적

하천명	지천명	하천연장 (km)	유역면적 (km ²)	수면적 (m ²)	고수부지면적 (m ²)
합 계		169.38	1,475.93	7,314,949	9,947,624
갑천	소 계	95.69	946.46	4,999,457	6,528,829
	갑천	39.71	735.90	3,589,696	4,775,218
	두계천	9.70	69.79	722,773	772,775
	매노천	3.75	17.62	96,536	112,151
	관평천	3.50	10.85	7,516	31,428
	덕진천	1.28	4.14	5,179	15,805
	법동천	2.70	3.32	5,443	10,983
	탄동천	7.40	20.77	66,143	96,275
	반석천	7.40	15.60	87,140	120,874
	유성천	7.13	31.31	207,656	290,641
	화산천	4.50	8.13	116,711	128,492
	진잠천	5.92	26.51	89,233	156,004
	성전천	2.70	2.52	5,431	18,183
유등천	소 계	30.00	340.22	1,176,354	1,846,991
	유등천	15.53	289.14	1,001,071	1,615,659
	과례천	2.50	7.48	7,957	29,175
	오정천	3.70	7.35	33,392	44,094
	정생천	3.69	17.29	123,747	127,213
	금동천	3.08	6.61	6,858	20,581
	구완천	1.50	12.35	3,329	10,269
대전천	소 계	28.96	161.92	1,044,458	1,367,294
	대전천	22.40	138.45	959,385	1,247,158
	대사천	2.20	2.98	4,156	19,212
	대동천	4.36	20.49	80,917	100,924
주원천	-	3.18	7.80	54,452	83,819
용호천	-	8.50	11.68	34,112	94,366
신동천	-	3.05	7.85	6,116	26,325

4. 타 도시와의 비교

국토해양부의 한국하천열람(2007)³⁷⁾ 자료를 바탕으로 서울특별시를 비롯하여 타 광역시와 대전시와의 하천연장을 비교한 결과, 울산광역시의 하천연장이 493 km로 가장 길었으며, 도시 면적당 하천연장과 도시 인구당 하천연장 또한 울산광역시가 각각 0.47 km/km²와 0.46 km/천명으로 가장 높았다. 대전시는 <표 4-4>와 같이 면적당 하천연장은 울산, 광주, 서울 다음으로 높은 0.39 km/km²를 나타냈으며, 인구당 하천연장은 울산, 광주 다음으로 높은 0.14 km/천명이다.

<표 4-4> 도시별 하천연장 비교

도시명	도시면적 (km ²)	인구 (천명)	하천연장 (km)	면적당 하천연장 (km/km ²)	인구당 하천연장 (km/천명)
대전광역시	540	1,487	213	0.39	0.14
서울특별시	605	10,026	248	0.41	0.02
부산광역시	766	3,525	254	0.33	0.07
대구광역시	884	2,470	277	0.31	0.11
인천광역시	1,002	2,613	120	0.12	0.05
광주광역시	501	1,445	219	0.44	0.15
울산광역시	1,057	1,080	493	0.47	0.46

37) 국토해양부, 「한국하천열람」, 2007

5. 기상개황

1) 기온

대전지방은 한반도 중부내륙에 위치하여 전형적인 내륙성 기후를 띠며 지난 10년간(1999~2008)의 연평균 기온은 13.1 °C이다. 또한 2008년의 평균 최고 기온은 8월에 24.6 °C, 최저 평균 기온은 2월의 -0.9 °C이다. <표 4-5>는 1999년부터 2008년까지 대전의 월별 평균 기온³⁸⁾을 나타내고 있다.

<표 4-5> 월별 평균 기온(1999~2008)

(단위 : °C)

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
2008	0.9	-0.9	7.6	14.0	18.1	21.1	26.1	24.6	21.4	15.2	7.6	1.7
2007	0.4	4.2	6.9	12.0	18.3	22.5	24.2	26.1	21.2	14.8	6.6	2.0
2006	0.3	0.9	6.1	11.7	18.5	22.3	23.1	26.7	20.0	17.1	8.8	1.5
2005	-1.5	-0.9	4.7	13.6	17.3	22.7	25.4	25.1	22.1	14.2	8.3	-2.9
2004	-0.5	3.6	7.0	13.9	18.6	23.5	26.1	25.9	21.4	14.7	9.1	3.1
2003	-1.7	2.9	6.9	13.6	19.4	22.0	23.4	24.4	21.6	14.0	10.0	2.3
2002	1.7	2.4	8.6	14.8	18.1	22.6	25.8	24.6	21.0	12.9	4.9	2.4
2001	-2.2	0.9	5.9	13.7	19.5	23.0	26.1	25.8	21.8	15.7	6.4	0.0
2000	-1.2	-1.1	6.1	11.9	17.2	22.2	25.6	25.8	19.9	14.5	6.6	1.4
1999	-0.3	1.2	6.4	13.7	17.5	22.7	25.0	25.6	22.6	13.7	7.5	0.8
월평균	-0.4	1.3	6.6	13.3	18.3	22.5	25.1	25.5	21.3	14.7	7.6	1.2

38) 대전시, 대전통계연보, 2000~2009

2) 습도

대전시 지난 10년간의 연평균 습도는 66.2%이며, 7월이 가장 높은 77.8%, 4월이 가장 낮은 54.1%를 보였다. 과거 10년간(1999년~2008년)의 습도³⁹⁾를 다음 <표 4-6>에 나타내었다.

<표 4-6> 월별 평균 습도(1999~2008)

(단위 : %)

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
2008	61.1	49.1	54.0	53.2	57.0	68.1	75.1	72.2	71.8	71.2	66.0	61.5
2007	64.9	59.1	61.5	51.8	61.3	66.2	77.0	78.4	80.2	71.7	64.8	72.9
2006	65.2	59.8	51.5	60.2	64.0	68.9	85.1	75.1	69.8	68.7	64.8	70.2
2005	56.3	52.5	53.2	50.1	56.9	68.1	76.0	78.0	74.0	71.4	59.5	63.3
2004	62.6	55.8	50.1	48.7	64.6	62.5	76.9	73.2	73.5	63.4	68.5	60.7
2003	66.2	65.1	61.7	61.6	63.8	70.2	80.2	80.3	77.8	65.6	71.3	63.5
2002	67.7	59.0	54.7	54.2	64.6	63.1	75.1	81.8	75.4	70.7	63.9	68.9
2001	67.9	63.7	54.3	50.9	59.8	70.0	76.7	71.2	63.5	73.1	66.8	64.4
2000	69.9	56.8	54.6	50.7	64.3	71.7	77.4	79.3	77.9	71.8	67.1	62.4
1999	62.7	62.4	56.5	59.1	64.3	69.2	78.5	82.0	84.6	78.1	71.2	70.8
월평균	64.5	58.3	55.2	54.1	62.1	67.8	77.8	77.2	74.9	70.6	66.4	65.9

월별 평균 기온과 습도 자료는 추후 하천에서의 증발산량 산정 시 J.R. Eagleman(1967)⁴⁰⁾의 식을 이용하여 월별 최대 증발산량을 산정하는데 근거자료로 쓰일 수 있다.

39) 대전시, 대전통계연보, 2000~2009

40) Eagleman, J. R.(1967), Pan evaporation, potential and actual evapotranspiration, J. Appli. Meteor., 6, pp. 482-488

제2절 하천의 CO₂ 흡수

1. 미세조류를 이용한 CO₂ 저감

미세조류는 광합성 효율이 육상식물에 비해 월등하며, 높은 효능의 생리활성 물질을 합성하는 종이 밝혀지고 있어 해외에서는 이미 상업적으로 이용되고 있다.

수생 미세조류는 육상식물에 비해 적어도 10배나 빠른 성장속도 즉, 이산화탄소 고정화율을 가지고 있으며, 많은 미세조류들은 biomass로도 사용할 수 있고 고부가가치 물질을 생산할 수 있다.

미세조류를 이용한 이산화탄소 고정화 공정개발을 위해 환경부의 지원으로 한국화학연구소의 연구에서 담수종의 미세조류를 분리하여 고정화에 이용하였을 때, 40 gCO₂/m² · day의 고정화 속도를 나타냈다.

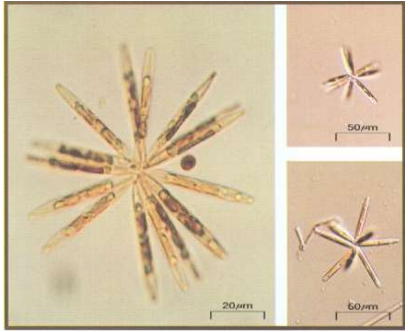
2. 하천에서의 CO₂ 흡수량

1) 대전시 하천의 식물플랑크톤 현황

「자연생태계 전국조사(1987, 환경처)」, 「금강유역 수질환경 및 자연상태(1998, 한국수자원공사)」의 조사결과 *Achnanthes lanceolata* var. *dubia*, *Amphora ovalos* var. *affinis*, *Amphora pediculus*, *Amphora* sp., *Cocconeis placentula*, *Cocconeis placentula* var. *lineata*, *Cyclotella kuetzingiana*, *Eunotia septentrionalis*, *Coelasphaerium dubium*, *Lyngbya epiphytica*, *Oscillatoria agardhii*, *Aphanothece nidulans*, *Calothrix fusca*, *Chlorococcum humicola*, *Chroococcus limneticus*, *Eudorina elegans*, *Gomphonema parvulum*, *Melosira italica*, *Navicula minima*, *Nitzschia palea*, *Oscillatoria brevis*, *Synedra ulna*, *Tetraspora gelatinosa* 등 110여 종의 식물플랑크톤이 보고되었으며, 우점종은 *Actinastrum Hantzschii*, *Synedra socia*로 조사되었다.

<표 4-7>은 대전시 하천의 식물플랑크톤 우점종인 *Actinastrum Hantzschii*의 특징으로 영양염이 풍부한 강이나 호수에 서식하는 녹색을 띠는 녹조강이다.

〈표 4-7〉 *Actinastrum Hantzschii*의 특징

<i>Actinastrum Hantzschii</i>	색	형태적 특징	생태적 특성
	녹색	<ul style="list-style-type: none"> • 폭 4~5 µm • 길이 25~30 µm • 4, 8, 16개의 세포가 모여 별모양의 군체를 형성 • 군체는 별모양으로 한쪽 끝이 서로 붙어 군체를 형성 	<ul style="list-style-type: none"> • 강이나 호수에 서식하는 일반적인 부유성 조류 • 영양염이 풍부한 수역에 출현

2) 대전시 하천의 동물플랑크톤 현황

「자연생태계 전국조사(1987/1988/1990/1991, 환경처)」의 조사결과 *Bosmina longirostris*, *Daphnia longispina*, *Mesocyclops leukarti*, *Thermocyclops hyalinus*, *Protozoa*, *Trochelminthes*, *Copepodite* 등 7종의 동물플랑크톤이 보고되었으며, 우점종은 *Protozoa*, *Trochelminthes*, *Mesocyclops leukarti*, *Thermocyclops hyalinus*로 조사되었다.

3) 해조류의 CO₂ 제거량

해조류는 해수에 존재하는 세 가지의 무기탄소(CO₂, HCO³⁻, CO₃²⁻)를 광합성 원료로 이용하여 육상에서 가장 높은 광합성률을 나타내는 사탕수수보다 높은 수치의 광합성 효율을 보인다.

해조류의 광합성량은 개도박>참다시마>미끌지누아리>모자반>까막살>미역>파래류의 순으로 나타난다. <표 4-8>은 해조류의 CO₂ 흡수량⁴¹⁾을 나타낸 것으로 가장 높은 광합성량을 나타낸 개도박은 연간 면적당 9.8 kg의 CO₂를 흡수하는 것으로 나타났다. 반면 식물플랑크톤은 연간 약 2 kgCO₂/m²의 이산화탄소를 흡수하는 것으로 나타났다.

41) 이산화탄소흡수원으로서의 해조류 활용을 위한 세미나, 2007

〈표 4-8〉 해조류의 CO₂ 흡수량 비교

항 목	CO ₂ 흡수율 (gCO ₂ /m ² · yr)
개도박	9,800
다시마	4,800
모자반	4,100
대황	2,000 ~ 3,000
식물플랑크톤	2,000

4) 대전시 하천에서의 CO₂ 흡수량

대전시의 하천에서 조류 및 식물플랑크톤의 광합성에 의해 감소될 수 있는 CO₂의 양을 알아보하고자 〈표 4-8〉의 해조류의 CO₂ 흡수량 자료를 이용하여 대전시 하천에 개도박, 다시마 등의 해조류와 식물플랑크톤이 서식한다고 가정하고 이론적인 CO₂의 흡수량을 산정하였다.

그 결과, 〈표 4-9〉와 같이 전체 하천 면적에서 개도박이 연간 71,687톤의 가장 많은 CO₂를 흡수하는 것으로 나타났다. 다시마는 35,112 tCO₂/yr, 모자반은 전체 하천에서 29,991 tCO₂/yr의 CO₂를 그리고 대황은 18,287 tCO₂/yr의 CO₂를 흡수한다. 또한 식물플랑크톤에 의한 CO₂ 흡수량은 연간 14,630톤으로 2007년 대전시의 연간 CO₂ 총배출량인 857만 톤에 비해 0.17%에 해당하는 양이다.

〈표 4-9〉 해조류에 따른 하천에서의 CO₂ 흡수량(단위 : tCO₂/yr)

하천명	지천명	해조류				
		개도박	다시마	모자반	대항	식물 플랑크톤
합 계		71,687	35,112	29,991	18,287	14,630
갑천	소 계	48,995	23,997	20,498	12,499	9,999
	갑천	35,179	17,231	14,718	8,974	7,179
	두계천	7,083	3,469	2,963	1,807	1,446
	매노천	946	463	396	241	193
	관평천	74	36	31	19	15
	덕진천	51	25	21	13	10
	범동천	53	26	22	14	11
	탄동천	648	317	271	165	132
	반석천	854	418	357	218	174
	유성천	2,035	997	851	519	415
	화산천	1,144	560	479	292	233
	진잠천	874	428	366	223	178
	성전천	53	26	22	14	11
유등천	소 계	11,528	5,646	4,823	2,941	2,353
	유등천	9,810	4,805	4,104	2,503	2,002
	과례천	78	38	33	20	16
	오정천	327	160	137	83	67
	정생천	1,213	594	507	309	247
	금동천	67	33	28	17	14
	구완천	33	16	14	8	7
대전천	소 계	10,236	5,013	4,282	2,611	2,089
	대전천	9,402	4,605	3,933	2,398	1,919
	대사천	41	20	17	10	8
	대동천	793	388	332	202	162
주원천	-	534	261	223	136	109
용호천	-	334	164	140	85	68
신동천	-	60	29	25	15	12

제3절 수생식물의 CO₂ 흡수

1. 대전시의 수생식물

1) 식물 종 조성

3대 하천 수계의 관속식물은 84과 221속 309종 1아종 47변종 1품종 1교잡종 등 총 364종류로 밝혀졌다. 이중 속새식물은 2종류, 양치식물 5종류, 나자식물 5종류, 피자식물 352종류(쌍자엽식물 252종류, 단자엽식물 100종류)등 364종류이다.⁴²⁾

특수식물 중에서 수생식물이 14종류인데 전체 조사식물 364종류의 3.8%로 3대하천의 수생식물은 적은 것으로 나타났으며 검정말이 우점종이고 나사말, 네가래, 마름, 애기마름 등이 우세한 종이었다. 특히 갑천 상류의 괴곡철도 밑이나 만년교 밑에 검정말이 다수분포 하였으며 마름, 애기마름은 갑천 상류인 만년교에서 가수원교 사이에 위치하는 도안뜰 부근 갑천에서 대대적으로 관찰되었다.

습지식물은 33종류로 조사되었는데 전체 364종 9.1%로 다소 많은 것으로 나타났다. 갑천 수계의 상류는 수생식물이 다양한 반면 중류나 하류는 빈약하다. 특히 쇠뜨기, 개속새, 갈풀, 줄, 달뿌리풀, 돌피, 갈대, 물억새 등이 우세한 종이며 가수원교에서 만년교사이의 갈대-물억새 군락은 대단위로 형성되어 있어서 보전이 절대로 필요한 지역이다. 갑천 상류 봉곡 2교 상류 쪽에는 도루박이의 대군락이 형성되어 있다. 유등천 수계는 중류와 하류에는 습지식물이 빈약하고 상류인 안영동에서 시계인 침산동까지는 갈대, 갈뿌리, 물억새, 갈풀 등이 군락을 이루고 있다. 대전천의 습지식물 또한 중류와 하류에는 보잘 것 없으나 상류인 대별교에서 만인산 휴양림까지는 고마리, 여뀌, 쇠뜨기, 갈풀 등이 우점하고 있다.

귀화식물은 24종류로 우리나라 전체 귀화식물 182종류의 13.2%이다. 귀화식물은 인간의 간섭에 의한 자연생태계의 영향정도를 직접적으로 반영하는 지표이며 또한 자생식물과 귀화식물의 경쟁관계를 나타내기도 한다. 전체 출현 종 364분류군 중에서 귀화식물은 6.6%를 차지한다. 대전시의 3대 하천은 도심지역을 통과하는 하천이므로 대단위의 귀화식물이 번창하고 있다. 이중 대표적인 귀화식물로는 자운영, 토끼풀, 개자리, 달맞이꽃, 돼지풀, 도꼬마리, 개망초, 망초, 미국가막사리, 서양민들레

42) 대전시, 도심생태하천조성 학술연구 종합보고서, 2003

등인데 특히 망초, 개망초, 서양민들레, 달맞이꽃 등은 대단위로 점유하여 자생식물에 큰 위협이 되고 있으며 돼지풀은 북미원산으로 광복 후 미군의 진주와 함께 도입된 식물로 8-9월에 꽃이 피면 화분 알레르기를 일으키는 식물로 그 피해가 심각하며 갑천 하류 고속철도 아래지역과 갑천 중류의 도안뜰 등지에서 흔히 볼 수 있다.

특산식물은 9종으로 약 2.5%로 차지하는 비율은 매우 낮다. 또한 우리나라 전체 특산식물 407분류군의 2.2%를 차지하는 것으로 나타났다.

9분류군 중에서 특기할 만한 식물은 광릉개밀(*Agropyron yesoense* var. *koryoense*)로 경기도 광릉에서만 분포하는 것으로만 알려졌었고, 곱슬사초(*Carex glabrescens*)도 함북, 함남, 평북(평양), 서울, 강원(금강산), 경기(수원), 지리산등지에서 분포하는 것으로 알려졌으나 두 분류군이 본 지역에서도 분포하는 것으로 알려졌다. 또한 넓은잎각시붓꽃(*Iris rossii* Baker var. *latifolia*)은 충남, 전북, 전남북부지역에서 분포하는 것으로 알려졌으며 본 지역에서도 확인되었다.

남방계식물인 금창초(*Ajuga decumbens*)와 북방계식물인 뚜껍덩굴(*Actinotemma lobatum*) 등이 조사되어 본 지역은 Nakai(1935)에 의한 전형적인 온대중부를 나타내고 있다.

유용식물로는 전체 364분류군 중에서 약용식물 98종류(26.9%), 식용식물 172종류(47.3%), 관상식물 42종류(11.5%), 사료식물 12종류(3.3%), 공업용식물 22종류(6.0%), 염료식물 4종류(1.0%), 향료식물 4종류(1.0%), 유지식물 1종류(0.27%), 밀원식물 6종류(1.6%) 및 재배식물 18종류(4.9%) 등 분류군마다 용도가 겹치는 것이 있지만 많은 자원식물이 있는 것으로 나타났다.

2) 식생

대전시의 3대 하천은 도심지역을 통과하고 인공적인 설치물이 많이 있기 때문에 복잡한 주변 환경을 보이고 있다. 또한 계절적인 강수량의 극심한 차이로 인한 하천 변 생태계의 변화는 계절적인 종의 출현이 극명하게 구별된다.

갑천, 유등천, 대전천 모두 상류지역은 자연 상태가 잘 유지되어 있으나 중류와 하류는 인공적인 시설물, 교량, 고수부지, 댐, 보, 관로, 운동시설, 하상 도로 등의 시설물 때문에 주변 경관도 복잡하고 출현 종수도 적을 뿐 아니라 종 다양성도 낮고 자연군락의 형성이 미약하여 특별관리가 요구되는 지역이 많다.

<표 4-10> 대전 3대 하천의 주요 수생식물 및 중요 군락

하천	위치	주요 출현 종	중요 군락
갑천	하류 (금강합류부~둔산대교)	달맞이꽃, 망초, 개망초, 갈대, 애기똥풀, 물억새	애기수영, 멧석딸기, 애기똥풀, 돼지풀
	중류 (둔산대교~가수원교)	고마리, 여뀌, 골풀, 망초, 길골풀, 노랑꽃창포, 갯버들, 부들, 봄맞이, 물골풀, 자운영	갈대-물억새, 달뿌리풀, 뚜껍덩굴, 마름-애기마름, 자운영
	상류 (가수원교~시계)	능수버들, 갯버들, 참나리, 참꽃마리, 방가지똥, 고들빼기, 멧석딸기	갈대, 검정말-나사말, 돌나물, 달뿌리풀
유등천	하류 (갑천합류부~삼천교)	갈대, 부들, 달맞이꽃, 강아지풀, 도깨비바늘	부들, 갈대-달뿌리풀, 달맞이꽃
	중류 (삼천교~뿌리공원)	부들, 갈대, 강아지풀, 달맞이꽃, 개불알풀, 토끼풀, 물억새, 도꼬마리, 쭈	검정말-줄, 족제비싸리, 버드나무(갯버들, 호랑버들, 왕버들, 수양버들)
	상류 (뿌리공원~시계)	개불알풀, 물억새, 갈대, 광대나물, 개망초, 서양민들레, 소리쟁이, 말냉이, 진달래, 산피불주머니	갈대-참억새, 네가래, 개불알풀
대전천	하류 (유등천합류부~대동천합류부)	개불알풀, 냉이, 별꽃, 꽃다지, 부들, 소리쟁이, 갈퀴나물, 논냉이, 광대나물	부들, 고마리, 소리쟁이
	중류 (대동천합류부~저수로교)	서양민들레, 흰민들레, 별꽃, 논냉이, 꽃다지	붕어마름, 논냉이
	상류 (저수로교~밭원지)	진달래, 산피불주머니, 현호색, 조팝나무, 쇠뜨기, 토끼풀, 광대나물, 꼭두선이, 짙레꽃	개구리밥-좀개구리밥, 갈대-물억새, 현호색-산피불주머니

2. 수질정화기능 수생식물

질소·인 등의 영양염류 정화에 탁월한 수질정화식물로는 꽃창포, 박하, 이삭물수세미, 큰피막이, 부들, 노랑어리연꽃, 생이가래, 갈대, 마름, 수련 등이 있으며, 습지에서 행해지는 유입하천 정화에는 갈대가 많이 이용되고 있다.

1) 정수식물

넓은 조건에 내성을 가지고 처리습지에 효과적인 정수식물에는 사초류, 골풀류, 부들류, 갈대류, 고랭이류 등과 같은 다양한 다년생 단자엽 식물이 포함된다. 충분한 햇볕과 적절한 기질과 전처리 등 적당한 조건에서 정수식물은 빨리 정착한다. 또한 정수식물은 뿌리와 줄기의 발달도가 높고 밀생하여 부착미생물에 의한 유기물 처리기능은 크나 체내의 질소, 인의 함량이 낮고 성장속도가 느려 영양염류의 흡수기능이 약하며, 수거가 어려운 반면 사료나 비료로서의 재이용은 크다.

2) 부엽식물

부엽식물의 사용은 일반적이지 않지만, 수심이 깊은 연못에서 사용될 수 있다. 수목은 정착하는데 오래 걸리고 정수식물보다 생산성과 양분흡수 능력이 낮아서 적합하지 않다. 그러나 수면 아래로 수염뿌리가 발달하여 물속의 뿌리로 유기물 등 영양분을 흡수하고 있는 수중산소를 만드는 역할을 한다.

3) 침수식물

가래류, 붕어마름류 등과 같은 침수식물은 빨리 정착하고, 정수식물보다 깊은 물에서 살 수 있기 때문에 수처리에 적합하다. 수심 1~1.5 m에서 잘 자라는 침수식물은 수중 생태계를 유지하고 물을 깨끗하게 하는데 필수적인 기능을 담당하며, 광합성을 통해 대량의 산소를 물속에 방출하고 조류의 번식을 제한하며 물속에 뻗은 가느다란 잎은 어류의 번식처로 활용된다.

4) 부유식물

부레옥잠, 물상추, 생이가래류 같은 부유식물도 양분흡수 능력이 크고 빨리 성장한다. 그러나 부레옥잠과 같은 경우, 처리기능이 뛰어나나 과밀하게 성장한 경우는 수표면에서 공기와의 산소유통을 차단하여 용존산소를 결핍시키며, 내한성이 낮아 국내 자연수역에서의 적용은 시기적으로 제한적이고 수분함량이 높아 운반이 쉽지 않다. 쯤개구리밥은 단백질 함량이 많아서 가축사료로 쓰일 수 있다. 그러나 과밀한 쯤개구리밥은 수역을 그늘지게 하고 용존산소를 떨어뜨리며 처리효율을 낮출 수 있다. 뿐만 아니라 정수식물과 부유식물의 문제점은 갖지 않으나 생체량이 작고 뿌리와 줄기의 발달이 적어 제거기능이 상대적으로 떨어진다. 온대지방에서 쯤개구리밥은 성장기동안만 효과를 나타내고 보조적인 수처리가 필요한 좁은 면적에서 적합할 수 있다.

3. 수생식물에 따른 CO₂ 흡수량

1) 수생식물의 건중량 및 탄소 함량

수생식물에 따라 제거 가능한 CO₂의 양을 산정하고자 하천에서 서식하는 주요 수생식물 종을 대상으로 건중량과 탄소 함량을 조사하였으며, 수생식물의 서식면적당 건중량은 충남 웅천 습지의 자료⁴³⁾와 팔당호 인공수초재배섬⁴⁴⁾에서의 건중량 값을 참고하였다. 또한 탄소 함량 값은 팔당호에 서식하는 우점 수생식물 중에 대하여 측정된 물질 함량 값⁴⁵⁾과 팔당호 인공수초재배섬의 수생식물 탄소 함량 값을 참고하여 사용하였다. 대전시 하천에서 서식하는 수생식물의 CO₂ 흡수량의 정확한 산정을 위해서는 우점하고 있는 수생식물을 대상으로 건중량 및 탄소 함량을 추후 조사할 필요가 있다.

팔당호와 웅천 일대에 서식하는 우점 수생식물 중 대전시 하천 주변에서도 주요 군락을 형성하여 서식하는 수생식물을 선별하여 총 12종의 우점 수생식물을 대상

43) 환경부, 2005 전국내륙습지 자연환경조사(충북심천, 충북웅천), 2005

44) 최명재, 팔당호 인공수초재배섬 수생식물의 성장 특성 및 영양염류 제거에 관한 연구, 서울시립대학교 도시과학대학원 석사학위논문, 2008

45) 한강수계관리위원회, 수중생태계 물질순환 및 에너지 흐름조사 최종보고서, 2007

으로 건중량 및 탄소 함량을 <표 4-11>에 나타내었다. 그 결과, 정수식물인 갈대는 $1,200 \text{ gDW/m}^2$ 의 건중량을 가지고 있었으며, 애기부들은 $1,487 \text{ gDW/m}^2$ 의 건중량을 나타내 다른 수생식물에 비하여 월등히 높은 건중량을 나타내었다. 애기부들은 탄소의 함량이 415.7 mgC/gDW 로 나타나 정수식물에서 다른 생활형 수생식물보다 높은 탄소 함량을 보여주고 있다.



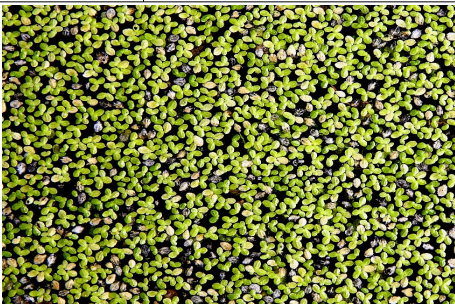
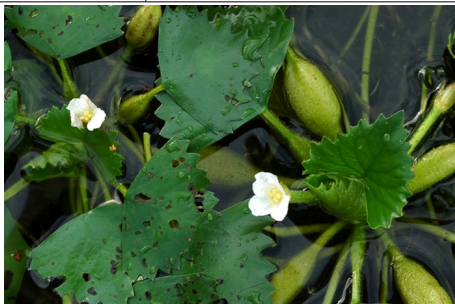
2) 수생식물의 피복정도에 따른 CO_2 함량

수생식물의 탄소함량(mgC/gDW)과 서식면적당 건중량(gDW/m^2)을 통해 대전시 하천에 주요 서식하는 수생식물 중 갈대, 달뿌리풀, 애기부들, 마름의 서식면적당 탄소함량(gC/m^2)을 산정하였으며, <표 4-12>와 같다. 수생식물의 서식면적당 가장 많은 탄소를 함량한 식물은 애기부들로 618 gC/m^2 이었으며, 갈대 역시 465 gC/m^2 의 비교적 높은 탄소 함량을 나타내었다.

<표 4-11> 수생식물의 서식면적당 건중량

			
식물명	갈대 (정수식물)	식물명	매자기 (정수식물)
건중량	1,200 gDW/m ²	건중량	952 gDW/m ²
탄소함량	387.7 mgC/gDW	탄소함량	- mgC/gDW
			
식물명	애기부들 (정수식물)	식물명	노랑꽃창포 (정수식물)
건중량	1,487 gDW/m ²	건중량	787 gDW/m ²
탄소함량	415.7 mgC/gDW	탄소함량	- mgC/gDW
			
식물명	글풀 (정수식물)	식물명	달뿌리풀 (정수식물)
건중량	457 gDW/m ²	건중량	268 gDW/m ²
탄소함량	- mgC/gDW	탄소함량	389 mgC/gDW

<표 4-11> 수생식물의 서식면적당 건중량 (표 계속)

			
식물명	미국가막사리 (정수식물)	식물명	개구리밥 (침수식물)
건중량	1,080 gDW/m ²	건중량	64 gDW/m ²
탄소함량	- mgC/gDW	탄소함량	- mgC/gDW
			
식물명	검정말 (침수식물)	식물명	붕어마름 (침수식물)
건중량	400 gDW/m ²	건중량	193 gDW/m ²
탄소함량	- mgC/gDW	탄소함량	- mgC/gDW
			
식물명	좀개구리밥 (부유식물)	식물명	마름 (부엽식물)
건중량	40 gDW/m ²	건중량	354 gDW/m ²
탄소함량	- mgC/gDW	탄소함량	288.9 mgC/gDW

<표 4-12> 수생식물의 서식면적당 탄소 함량

식물명	갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
탄소함량 (gC/m ²)	465	104	618	102

이를 토대로 대전시 하천 및 고수부지 면적에 대한 수생식물의 연간 탄소 함량 및 CO₂ 함량(tCO₂/yr)을 산정하였는데, 수생식물이 하천 및 고수부지의 면적 중 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%를 피복했을 때 각각 수생식물의 연간 탄소 함량과 연간 CO₂ 함량으로 환산한 값은 <표 4-13> ~ <표 4-60>과 같으며, 하천 및 고수부지에 식물이 많이 서식할수록 더 많은 CO₂가 흡수됨을 알 수 있다.

반면 갈대, 달뿌리풀, 애기부들은 정수식물로 하천과 고수부지에서 모두 서식 가능하며, 마름은 부엽식물로 하천 내에서만 서식할 수 있으므로, 고수부지 면적에 대한 마름의 CO₂ 함량은 제외하였다.

갑천 면적의 5%인 179,485 m²만큼 탄소 함량이 가장 많은 애기부들이 서식한다면 연간 흡수되는 이산화탄소는 407 tCO₂이며, 갈대가 하천 면적의 5%를 피복할 경우에는 306 tCO₂/yr의 이산화탄소가 흡수되는 것으로 나타났다. 갑천변 고수부지에서는 피복률이 5%인 238,761 m²의 면적에 애기부들이 서식한다면 연간 541 tCO₂가 흡수될 것으로 예상된다. 갑천 다음으로 면적이 넓은 유등천에서는 하천 면적의 5%인 50,054 m²에서 애기부들이 서식할 때 113 tCO₂/yr가 흡수되며, 고수부지 면적의 5%인 80,783 m²에서 애기부들이 서식한다면 183 tCO₂/yr가 흡수되는 것으로 나타났다. 또한 대전천의 애기부들 피복률이 5%일 때 식물 피복면적은 47,969 m²이며, 애기부들의 이산화탄소 함량은 109 tCO₂/yr이다. 고수부지 면적의 5%인 62,358 m²에서 애기부들은 141 tCO₂/yr의 CO₂를 흡수한다.

<표 4-13> 갑천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

갑천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	3,589,696	5%	179,485	84	19	111	18
		10%	358,970	167	37	222	37
		20%	717,939	334	75	444	73
		30%	1,076,909	501	112	666	110
		40%	1,435,878	668	150	888	147
		50%	1,794,848	835	187	1,109	184
고수 부지	4,775,218	5%	238,761	111	25	148	
		10%	477,522	222	50	295	
		20%	955,044	444	100	590	
		30%	1,432,565	666	149	886	
		40%	1,910,087	889	199	1,181	
		50%	2,387,609	1,111	249	1,476	

<표 4-14> 갑천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

갑천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	3,589,696	5%	179,485	306	69	407	67
		10%	358,970	612	137	814	135
		20%	717,939	1,225	274	1,627	269
		30%	1,076,909	1,837	412	2,441	404
		40%	1,435,878	2,449	549	3,254	538
		50%	1,794,848	3,062	686	4,068	673
고수 부지	4,775,218	5%	238,761	407	91	541	
		10%	477,522	815	183	1,082	
		20%	955,044	1,629	365	2,165	
		30%	1,432,565	2,444	548	3,247	
		40%	1,910,087	3,258	730	4,329	
		50%	2,387,609	4,073	913	5,412	

<표 4-15> 두계천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

두계천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	36,139	17	4	22	4
		10%	72,277	34	8	45	7
		20%	144,555	67	15	89	15
		30%	216,832	101	23	134	22
		40%	289,109	135	30	179	30
		50%	361,387	168	38	223	37
고수 부지	772,775	5%	38,639	18	4	24	
		10%	77,278	36	8	48	
		20%	154,555	72	16	96	
		30%	231,833	108	24	143	
		40%	309,110	144	32	191	
		50%	386,388	180	40	239	

<표 4-16> 두계천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

두계천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	36,139	62	14	82	14
		10%	72,277	123	28	164	27
		20%	144,555	247	55	328	54
		30%	216,832	370	83	491	81
		40%	289,109	493	111	655	108
		50%	361,387	616	138	819	136
고수 부지	772,775	5%	38,639	66	15	88	
		10%	77,278	132	30	175	
		20%	154,555	264	59	350	
		30%	231,833	395	89	525	
		40%	309,110	527	118	701	
		50%	386,388	659	148	876	

<표 4-17> 매노천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

매노천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	96,536	5%	4,827	2.246	0.503	2.984	0.494
		10%	9,654	4.491	1.006	5.967	0.987
		20%	19,307	8.982	2.013	11.935	1.975
		30%	28,961	13.474	3.019	17.902	2.962
		40%	38,614	17.965	4.026	23.869	3.949
		50%	48,268	22.456	5.032	29.837	4.936
고수 부지	112,151	5%	5,608	2.609	0.585	3.466	
		10%	11,215	5.218	1.169	6.933	
		20%	22,430	10.435	2.338	13.865	
		30%	33,645	15.653	3.508	20.798	
		40%	44,860	20.871	4.677	27.730	
		50%	56,076	26.089	5.846	34.663	

<표 4-18> 매노천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

매노천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	4,827	8	2	11	2
		10%	9,654	16	4	22	4
		20%	19,307	33	7	44	7
		30%	28,961	49	11	66	11
		40%	38,614	66	15	88	14
		50%	48,268	82	18	109	18
고수 부지	772,775	5%	5,608	10	2	13	
		10%	11,215	19	4	25	
		20%	22,430	38	9	51	
		30%	33,645	57	13	76	
		40%	44,860	77	17	102	
		50%	56,076	96	21	127	

<표 4-19> 관평천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

관평천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	7,516	5%	376	0.175	0.039	0.232	0.038
		10%	752	0.350	0.078	0.465	0.077
		20%	1,503	0.699	0.157	0.929	0.154
		30%	2,255	1.049	0.235	1.394	0.231
		40%	3,006	1.399	0.313	1.858	0.307
		50%	3,758	1.748	0.392	2.323	0.384
고수 부지	31,428	5%	1,571	0.731	0.164	0.971	
		10%	3,143	1.462	0.328	1.943	
		20%	6,286	2.924	0.655	3.885	
		30%	9,428	4.386	0.983	5.828	
		40%	12,571	5.849	1.311	7.771	
		50%	15,714	7.311	1.638	9.714	

<표 4-20> 관평천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

관평천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	376	0.641	0.144	0.852	0.141
		10%	752	1.282	0.287	1.704	0.282
		20%	1,503	2.564	0.575	3.407	0.564
		30%	2,255	3.846	0.862	5.111	0.846
		40%	3,006	5.129	1.149	6.814	1.127
		50%	3,758	6.411	1.437	8.518	1.409
고수 부지	772,775	5%	1,571	2.681	0.601	3.562	
		10%	3,143	5.361	1.201	7.123	
		20%	6,286	10.722	2.403	14.247	
		30%	9,428	16.084	3.604	21.370	
		40%	12,571	21.445	4.805	28.493	
		50%	15,714	26.806	6.007	35.616	

<표 4-21> 덕진천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

덕진천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	5,179	5%	259	0.120	0.027	0.160	0.026
		10%	518	0.241	0.054	0.320	0.053
		20%	1,036	0.482	0.108	0.640	0.106
		30%	1,554	0.723	0.162	0.960	0.159
		40%	2,072	0.964	0.216	1.281	0.212
		50%	2,590	1.205	0.270	1.601	0.265
고수 부지	15,805	5%	790	0.368	0.082	0.488	
		10%	1,581	0.735	0.165	0.977	
		20%	3,161	1.471	0.330	1.954	
		30%	4,742	2.206	0.494	2.931	
		40%	6,322	2.941	0.659	3.908	
		50%	7,903	3.677	0.824	4.885	

<표 4-22> 덕진천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

덕진천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	259	0.442	0.099	0.587	0.097
		10%	518	0.883	0.198	1.174	0.194
		20%	1,036	1.767	0.396	2.348	0.388
		30%	1,554	2.650	0.594	3.522	0.583
		40%	2,072	3.534	0.792	4.695	0.777
		50%	2,590	4.417	0.990	5.869	0.971
고수 부지	772,775	5%	790	1.348	0.302	1.791	
		10%	1,581	2.696	0.604	3.582	
		20%	3,161	5.392	1.208	7.165	
		30%	4,742	8.088	1.812	10.747	
		40%	6,322	10.785	2.417	14.329	
		50%	7,903	13.481	3.021	17.911	

<표 4-23> 범동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

범동천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	5,443	5%	272	0.127	0.028	0.168	0.028
		10%	544	0.253	0.057	0.336	0.056
		20%	1,089	0.506	0.113	0.673	0.111
		30%	1,633	0.760	0.170	1.009	0.167
		40%	2,177	1.013	0.227	1.346	0.223
		50%	2,722	1.266	0.284	1.682	0.278
고수 부지	10,983	5%	549	0.255	0.057	0.339	
		10%	1,098	0.511	0.114	0.679	
		20%	2,197	1.022	0.229	1.358	
		30%	3,295	1.533	0.343	2.037	
		40%	4,393	2.044	0.458	2.716	
		50%	5,492	2.555	0.572	3.395	

<표 4-24> 범동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

범동천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	272	0.464	0.104	0.617	0.102
		10%	544	0.929	0.208	1.234	0.204
		20%	1,089	1.857	0.416	2.467	0.408
		30%	1,633	2.786	0.624	3.701	0.612
		40%	2,177	3.714	0.832	4.935	0.816
		50%	2,722	4.643	1.040	6.168	1.021
고수 부지	772,775	5%	549	0.937	0.210	1.245	
		10%	1,098	1.874	0.420	2.489	
		20%	2,197	3.747	0.840	4.979	
		30%	3,295	5.621	1.259	7.468	
		40%	4,393	7.494	1.679	9.957	
		50%	5,492	9.368	2.099	12.447	

<표 4-25> 탄동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

탄동천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	66,143	5%	3,307	1.539	0.345	2.044	0.338
		10%	6,614	3.077	0.690	4.089	0.676
		20%	13,229	6.154	1.379	8.177	1.353
		30%	19,843	9.232	2.069	12.266	2.029
		40%	26,457	12.309	2.758	16.354	2.706
		50%	33,072	15.386	3.448	20.443	3.382
고수 부지	96,275	5%	4,814	2.240	0.502	2.976	
		10%	9,628	4.479	1.004	5.951	
		20%	19,255	8.958	2.007	11.902	
		30%	28,883	13.437	3.011	17.854	
		40%	38,510	17.916	4.015	23.805	
		50%	48,138	22.395	5.018	29.756	

<표 4-26> 탄동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

탄동천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	3,307	6	1	7	1
		10%	6,614	11	3	15	2
		20%	13,229	23	5	30	5
		30%	19,843	34	8	45	7
		40%	26,457	45	10	60	10
		50%	33,072	56	13	75	12
고수 부지	772,775	5%	4,814	8	2	11	
		10%	9,628	16	4	22	
		20%	19,255	33	7	44	
		30%	28,883	49	11	65	
		40%	38,510	66	15	87	
		50%	48,138	82	18	109	

<표 4-27> 반석천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

반석천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	87,140	5%	4,357	2.027	0.454	2.693	0.446
		10%	8,714	4.054	0.908	5.387	0.891
		20%	17,428	8.108	1.817	10.773	1.782
		30%	26,142	12.162	2.725	16.160	2.674
		40%	34,856	16.216	3.634	21.546	3.565
		50%	43,570	20.271	4.542	26.933	4.456
고수 부지	120,874	5%	6,044	2.812	0.630	3.736	
		10%	12,087	5.624	1.260	7.472	
		20%	24,175	11.247	2.520	14.944	
		30%	36,262	16.871	3.780	22.415	
		40%	48,350	22.494	5.041	29.887	
		50%	60,437	28.118	6.301	37.359	

<표 4-28> 반석천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

반석천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	4,357	7	2	10	2
		10%	8,714	15	3	20	3
		20%	17,428	30	7	40	7
		30%	26,142	45	10	59	10
		40%	34,856	59	13	79	13
		50%	43,570	74	17	99	16
고수 부지	772,775	5%	6,044	10	2	14	
		10%	12,087	21	5	27	
		20%	24,175	41	9	55	
		30%	36,262	62	14	82	
		40%	48,350	82	18	110	
		50%	60,437	103	23	137	

〈표 4-29〉 유성천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

유성천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	207,656	5%	10,383	5	1	6	1
		10%	20,766	10	2	13	2
		20%	41,531	19	4	26	4
		30%	62,297	29	6	39	6
		40%	83,062	39	9	51	8
		50%	103,828	48	11	64	11
고수 부지	290,641	5%	14,532	7	2	9	
		10%	29,064	14	3	18	
		20%	58,128	27	6	36	
		30%	87,192	41	9	54	
		40%	116,256	54	12	72	
		50%	145,321	68	15	90	

〈표 4-30〉 유성천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

유성천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	10,383	18	4	24	4
		10%	20,766	35	8	47	8
		20%	41,531	71	16	94	16
		30%	62,297	106	24	141	23
		40%	83,062	142	32	188	31
		50%	103,828	177	40	235	39
고수 부지	772,775	5%	14,532	25	6	33	
		10%	29,064	50	11	66	
		20%	58,128	99	22	132	
		30%	87,192	149	33	198	
		40%	116,256	198	44	263	
		50%	145,321	248	56	329	

<표 4-31> 화산천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

화산천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	116,711	5%	5,836	2.715	0.608	3.607	0.597
		10%	11,671	5.430	1.217	7.214	1.194
		20%	23,342	10.860	2.433	14.429	2.387
		30%	35,013	16.290	3.650	21.643	3.581
		40%	46,684	21.719	4.867	28.858	4.774
		50%	58,356	27.149	6.084	36.072	5.968
고수 부지	128,492	5%	6,425	2.989	0.670	3.971	
		10%	12,849	5.978	1.340	7.943	
		20%	25,698	11.956	2.679	15.885	
		30%	38,548	17.934	4.019	23.828	
		40%	51,397	23.912	5.358	31.771	
		50%	64,246	29.890	6.698	39.713	

<표 4-32> 화산천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

화산천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	5,836	10	2	13	2
		10%	11,671	20	4	26	4
		20%	23,342	40	9	53	9
		30%	35,013	60	13	79	13
		40%	46,684	80	18	106	18
		50%	58,356	100	22	132	22
고수 부지	772,775	5%	6,425	11	2	15	
		10%	12,849	22	5	29	
		20%	25,698	44	10	58	
		30%	38,548	66	15	87	
		40%	51,397	88	20	116	
		50%	64,246	110	25	146	

<표 4-33> 진잠천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

진잠천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	89,233	5%	4,462	2.076	0.465	2.758	0.456
		10%	8,923	4.151	0.930	5.516	0.913
		20%	17,847	8.303	1.861	11.032	1.825
		30%	26,770	12.454	2.791	16.548	2.738
		40%	35,693	16.606	3.721	22.064	3.650
		50%	44,617	20.757	4.651	27.580	4.563
고수 부지	156,004	5%	7,800	3.629	0.813	4.822	
		10%	15,600	7.258	1.626	9.643	
		20%	31,201	14.516	3.253	19.287	
		30%	46,801	21.774	4.879	28.930	
		40%	62,402	29.032	6.505	38.573	
		50%	78,002	36.290	8.132	48.217	

<표 4-34> 진잠천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

진잠천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	4,462	8	2	10	2
		10%	8,923	15	3	20	3
		20%	17,847	30	7	40	7
		30%	26,770	46	10	61	10
		40%	35,693	61	14	81	13
		50%	44,617	76	17	101	17
고수 부지	772,775	5%	7,800	13	3	18	
		10%	15,600	27	6	35	
		20%	31,201	53	12	71	
		30%	46,801	80	18	106	
		40%	62,402	106	24	141	
		50%	78,002	133	30	177	

<표 4-35> 성전천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

성전천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	5,431	5%	272	0.126	0.028	0.168	0.028
		10%	543	0.253	0.057	0.336	0.056
		20%	1,086	0.505	0.113	0.671	0.111
		30%	1,629	0.758	0.170	1.007	0.167
		40%	2,172	1.011	0.226	1.343	0.222
		50%	2,716	1.263	0.283	1.679	0.278
고수 부지	18,183	5%	909	0.423	0.095	0.562	
		10%	1,818	0.846	0.190	1.124	
		20%	3,637	1.692	0.379	2.248	
		30%	5,455	2.538	0.569	3.372	
		40%	7,273	3.384	0.758	4.496	
		50%	9,092	4.230	0.948	5.620	

<표 4-36> 성전천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

성전천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	272	0.463	0.104	0.615	0.102
		10%	543	0.926	0.208	1.231	0.204
		20%	1,086	1.853	0.415	2.462	0.407
		30%	1,629	2.779	0.623	3.693	0.611
		40%	2,172	3.706	0.830	4.924	0.815
		50%	2,716	4.632	1.038	6.155	1.018
고수 부지	772,775	5%	909	1.551	0.348	2.061	
		10%	1,818	3.102	0.695	4.121	
		20%	3,637	6.204	1.390	8.242	
		30%	5,455	9.305	2.085	12.364	
		40%	7,273	12.407	2.780	16.485	
		50%	9,092	15.509	3.475	20.606	

<표 4-37> 유등천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

유등천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	1,001,071	5%	50,054	23	5	31	5
		10%	100,107	47	10	62	10
		20%	200,214	93	21	124	20
		30%	300,321	140	31	186	31
		40%	400,428	186	42	248	41
		50%	500,536	233	52	309	51
고수 부지	1,615,659	5%	80,783	38	8	50	
		10%	161,566	75	17	100	
		20%	323,132	150	34	200	
		30%	484,698	226	51	300	
		40%	646,264	301	67	399	
		50%	807,830	376	84	499	

<표 4-38> 유등천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

유등천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	50,054	85	19	113	19
		10%	100,107	171	38	227	38
		20%	200,214	342	77	454	75
		30%	300,321	512	115	681	113
		40%	400,428	683	153	908	150
		50%	500,536	854	191	1,134	188
고수 부지	772,775	5%	80,783	138	31	183	
		10%	161,566	276	62	366	
		20%	323,132	551	124	732	
		30%	484,698	827	185	1,099	
		40%	646,264	1,102	247	1,465	
		50%	807,830	1,378	309	1,831	

<표 4-39> 과례천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

과례천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	7,957	5%	398	0.185	0.041	0.246	0.041
		10%	796	0.370	0.083	0.492	0.081
		20%	1,591	0.740	0.166	0.984	0.163
		30%	2,387	1.111	0.249	1.476	0.244
		40%	3,183	1.481	0.332	1.967	0.326
		50%	3,979	1.851	0.415	2.459	0.407
고수 부지	29,175	5%	1,459	0.679	0.152	0.902	
		10%	2,918	1.357	0.304	1.803	
		20%	5,835	2.715	0.608	3.607	
		30%	8,753	4.072	0.912	5.410	
		40%	11,670	5.429	1.217	7.214	
		50%	14,588	6.787	1.521	9.017	

<표 4-40> 과례천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

과례천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	398	0.679	0.152	0.902	0.149
		10%	796	1.357	0.304	1.803	0.298
		20%	1,591	2.715	0.608	3.607	0.597
		30%	2,387	4.072	0.912	5.410	0.895
		40%	3,183	5.429	1.217	7.214	1.194
		50%	3,979	6.787	1.521	9.017	1.492
고수 부지	772,775	5%	1,459	2.488	0.558	3.306	
		10%	2,918	4.977	1.115	6.613	
		20%	5,835	9.954	2.230	13.225	
		30%	8,753	14.931	3.346	19.838	
		40%	11,670	19.908	4.461	26.450	
		50%	14,588	24.885	5.576	33.063	

<표 4-41> 오정천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

오정천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	33,392	5%	1,670	0.777	0.174	1.032	0.171
		10%	3,339	1.554	0.348	2.064	0.342
		20%	6,678	3.107	0.696	4.128	0.683
		30%	10,018	4.661	1.044	6.192	1.025
		40%	13,357	6.214	1.392	8.256	1.366
		50%	16,696	7.768	1.741	10.321	1.708
고수 부지	44,094	5%	2,205	1.026	0.230	1.363	
		10%	4,409	2.051	0.460	2.726	
		20%	8,819	4.103	0.919	5.451	
		30%	13,228	6.154	1.379	8.177	
		40%	17,638	8.206	1.839	10.903	
		50%	22,047	10.257	2.298	13.628	

<표 4-42> 오정천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

오정천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	1,670	3	1	4	1
		10%	3,339	6	1	8	1
		20%	6,678	11	3	15	3
		30%	10,018	17	4	23	4
		40%	13,357	23	5	30	5
		50%	16,696	28	6	38	6
고수 부지	772,775	5%	2,205	4	1	5	
		10%	4,409	8	2	10	
		20%	8,819	15	3	20	
		30%	13,228	23	5	30	
		40%	17,638	30	7	40	
		50%	22,047	38	8	50	

<표 4-43> 정생천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

정생천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	123,747	5%	6,187	3	1	4	1
		10%	12,375	6	1	8	1
		20%	24,749	12	3	15	3
		30%	37,124	17	4	23	4
		40%	49,499	23	5	31	5
		50%	61,874	29	6	38	6
고수 부지	127,213	5%	6,361	3	1	4	
		10%	12,721	6	1	8	
		20%	25,443	12	3	16	
		30%	38,164	18	4	24	
		40%	50,885	24	5	31	
		50%	63,607	30	7	39	

<표 4-44> 정생천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

정생천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	6,187	11	2	14	2
		10%	12,375	21	5	28	5
		20%	24,749	42	9	56	9
		30%	37,124	63	14	84	14
		40%	49,499	84	19	112	19
		50%	61,874	106	24	140	23
고수 부지	772,775	5%	6,361	11	2	14	
		10%	12,721	22	5	29	
		20%	25,443	43	10	58	
		30%	38,164	65	15	86	
		40%	50,885	87	19	115	
		50%	63,607	109	24	144	

〈표 4-45〉 금동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

금동천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	6,858	5%	343	0.160	0.036	0.212	0.035
		10%	686	0.319	0.071	0.424	0.070
		20%	1,372	0.638	0.143	0.848	0.140
		30%	2,057	0.957	0.214	1.272	0.210
		40%	2,743	1.276	0.286	1.696	0.281
		50%	3,429	1.595	0.357	2.120	0.351
고수 부지	20,581	5%	1,029	0.479	0.107	0.636	
		10%	2,058	0.958	0.215	1.272	
		20%	4,116	1.915	0.429	2.544	
		30%	6,174	2.873	0.644	3.817	
		40%	8,232	3.830	0.858	5.089	
		50%	10,291	4.788	1.073	6.361	

〈표 4-46〉 금동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

금동천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	343	0.585	0.131	0.777	0.129
		10%	686	1.170	0.262	1.554	0.257
		20%	1,372	2.340	0.524	3.109	0.514
		30%	2,057	3.510	0.786	4.663	0.772
		40%	2,743	4.680	1.049	6.218	1.029
		50%	3,429	5.849	1.311	7.772	1.286
고수 부지	772,775	5%	1,029	1.755	0.393	2.332	
		10%	2,058	3.511	0.787	4.665	
		20%	4,116	7.022	1.573	9.330	
		30%	6,174	10.533	2.360	13.994	
		40%	8,232	14.043	3.147	18.659	
		50%	10,291	17.554	3.934	23.324	

<표 4-47> 구완천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

구완천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	3,329	5%	166	0.077	0.017	0.103	0.017
		10%	333	0.155	0.035	0.206	0.034
		20%	666	0.310	0.069	0.412	0.068
		30%	999	0.465	0.104	0.617	0.102
		40%	1,332	0.620	0.139	0.823	0.136
		50%	1,665	0.774	0.174	1.029	0.170
고수 부지	10,269	5%	513	0.239	0.054	0.317	
		10%	1,027	0.478	0.107	0.635	
		20%	2,054	0.956	0.214	1.270	
		30%	3,081	1.433	0.321	1.904	
		40%	4,108	1.911	0.428	2.539	
		50%	5,135	2.389	0.535	3.174	

<표 4-48> 구완천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

구완천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	166	0.284	0.064	0.377	0.062
		10%	333	0.568	0.127	0.755	0.125
		20%	666	1.136	0.255	1.509	0.250
		30%	999	1.704	0.382	2.264	0.375
		40%	1,332	2.272	0.509	3.018	0.499
		50%	1,665	2.839	0.636	3.773	0.624
고수 부지	772,775	5%	513	0.876	0.196	1.164	
		10%	1,027	1.752	0.393	2.328	
		20%	2,054	3.504	0.785	4.655	
		30%	3,081	5.255	1.178	6.983	
		40%	4,108	7.007	1.570	9.310	
		50%	5,135	8.759	1.963	11.638	

<표 4-49> 대전천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

대전천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	959,385	5%	47,969	22	5	30	5
		10%	95,939	45	10	59	10
		20%	191,877	89	20	119	20
		30%	287,816	134	30	178	29
		40%	383,754	179	40	237	39
		50%	479,693	223	50	297	49
고수 부지	1,247,158	5%	62,358	29	7	39	
		10%	124,716	58	13	77	
		20%	249,432	116	26	154	
		30%	374,147	174	39	231	
		40%	498,863	232	52	308	
		50%	623,579	290	65	385	

<표 4-50> 대전천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

대전천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	47,969	82	18	109	18
		10%	95,939	164	37	217	36
		20%	191,877	327	73	435	72
		30%	287,816	491	110	652	108
		40%	383,754	655	147	870	144
		50%	479,693	818	183	1,087	180
고수 부지	772,775	5%	62,358	106	24	141	
		10%	124,716	213	48	283	
		20%	249,432	426	95	565	
		30%	374,147	638	143	848	
		40%	498,863	851	191	1,131	
		50%	623,579	1,064	238	1,413	

<표 4-51> 대사천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

대사천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	4,156	5%	208	0.097	0.022	0.128	0.021
		10%	416	0.193	0.043	0.257	0.043
		20%	831	0.387	0.087	0.514	0.085
		30%	1,247	0.580	0.130	0.771	0.128
		40%	1,662	0.773	0.173	1.028	0.170
		50%	2,078	0.967	0.217	1.285	0.213
고수 부지	19,212	5%	961	0.447	0.100	0.594	
		10%	1,921	0.894	0.200	1.188	
		20%	3,842	1.788	0.401	2.375	
		30%	5,764	2.681	0.601	3.563	
		40%	7,685	3.575	0.801	4.750	
		50%	9,606	4.469	1.001	5.938	

<표 4-52> 대사천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

대사천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	208	0.354	0.079	0.471	0.078
		10%	416	0.709	0.159	0.942	0.156
		20%	831	1.418	0.318	1.884	0.312
		30%	1,247	2.127	0.477	2.826	0.468
		40%	1,662	2.836	0.635	3.768	0.623
		50%	2,078	3.545	0.794	4.710	0.779
고수 부지	772,775	5%	961	1.639	0.367	2.177	
		10%	1,921	3.277	0.734	4.354	
		20%	3,842	6.555	1.469	8.709	
		30%	5,764	9.832	2.203	13.063	
		40%	7,685	13.109	2.938	17.418	
		50%	9,606	16.387	3.672	21.772	

<표 4-53> 대동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

대동천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	80,917	5%	4,046	1.882	0.422	2.501	0.414
		10%	8,092	3.765	0.844	5.002	0.828
		20%	16,183	7.529	1.687	10.004	1.655
		30%	24,275	11.294	2.531	15.006	2.483
		40%	32,367	15.058	3.374	20.007	3.310
		50%	40,459	18.823	4.218	25.009	4.138
고수 부지	100,924	5%	5,046	2.348	0.526	3.119	
		10%	10,092	4.695	1.052	6.239	
		20%	20,185	9.391	2.104	12.477	
		30%	30,277	14.086	3.156	18.716	
		40%	40,370	18.782	4.209	24.954	
		50%	50,462	23.477	5.261	31.193	

<표 4-54> 대동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

대동천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	4,046	7	2	9	2
		10%	8,092	14	3	18	3
		20%	16,183	28	6	37	6
		30%	24,275	41	9	55	9
		40%	32,367	55	12	73	12
		50%	40,459	69	15	92	15
고수 부지	772,775	5%	5,046	9	2	11	
		10%	10,092	17	4	23	
		20%	20,185	34	8	46	
		30%	30,277	52	12	69	
		40%	40,370	69	15	91	
		50%	50,462	86	19	114	

<표 4-55> 주원천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

주원천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	54,452	5%	2,723	1.267	0.284	1.683	0.278
		10%	5,445	2.533	0.568	3.366	0.557
		20%	10,890	5.067	1.135	6.732	1.114
		30%	16,336	7.600	1.703	10.098	1.671
		40%	21,781	10.133	2.271	13.464	2.228
		50%	27,226	12.667	2.838	16.830	2.784
고수 부지	83,819	5%	4,191	1.950	0.437	2.591	
		10%	8,382	3.900	0.874	5.181	
		20%	16,764	7.799	1.748	10.362	
		30%	25,146	11.699	2.621	15.544	
		40%	33,528	15.598	3.495	20.725	
		50%	41,910	19.498	4.369	25.906	

<표 4-56> 주원천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

주원천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	2,723	5	1	6	1
		10%	5,445	9	2	12	2
		20%	10,890	19	4	25	4
		30%	16,336	28	6	37	6
		40%	21,781	37	8	49	8
		50%	27,226	46	10	62	10
고수 부지	772,775	5%	4,191	7	2	9	
		10%	8,382	14	3	19	
		20%	16,764	29	6	38	
		30%	25,146	43	10	57	
		40%	33,528	57	13	76	
		50%	41,910	71	16	95	

<표 4-57> 용호천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

용호천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	34,112	5%	1,706	0.794	0.178	1.054	0.174
		10%	3,411	1.587	0.356	2.109	0.349
		20%	6,822	3.174	0.711	4.217	0.698
		30%	10,234	4.761	1.067	6.326	1.047
		40%	13,645	6.348	1.422	8.434	1.395
		50%	17,056	7.935	1.778	10.543	1.744
고수 부지	94,366	5%	4,718	2.195	0.492	2.917	
		10%	9,437	4.390	0.984	5.833	
		20%	18,873	8.781	1.968	11.666	
		30%	28,310	13.171	2.951	17.500	
		40%	37,746	17.561	3.935	23.333	
		50%	47,183	21.951	4.919	29.166	

<표 4-58> 용호천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

용호천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	1,706	3	1	4	1
		10%	3,411	6	1	8	1
		20%	6,822	12	3	15	3
		30%	10,234	17	4	23	4
		40%	13,645	23	5	31	5
		50%	17,056	29	7	39	6
고수 부지	772,775	5%	4,718	8	2	11	
		10%	9,437	16	4	21	
		20%	18,873	32	7	43	
		30%	28,310	48	11	64	
		40%	37,746	64	14	86	
		50%	47,183	80	18	107	

<표 4-59> 신동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 탄소 함량

신동천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	탄소 함량(tC/yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	6,116	5%	306	0.142	0.032	0.189	0.031
		10%	612	0.285	0.064	0.378	0.063
		20%	1,223	0.569	0.128	0.756	0.125
		30%	1,835	0.854	0.191	1.134	0.188
		40%	2,446	1.138	0.255	1.512	0.250
		50%	3,058	1.423	0.319	1.890	0.313
고수 부지	26,325	5%	1,316	0.612	0.137	0.814	
		10%	2,633	1.225	0.274	1.627	
		20%	5,265	2.449	0.549	3.255	
		30%	7,898	3.674	0.823	4.882	
		40%	10,530	4.899	1.098	6.509	
		50%	13,163	6.124	1.372	8.136	

<표 4-60> 신동천의 수생식물의 피복 정도에 따른 CO₂ 함량

신동천	면적 (m ²)	식물 피복률 (%)	식물 피복 면적 (m ²)	이산화탄소 함량(tCO ₂ /yr)			
				갈대	달뿌리풀	애기부들	마름
하천	722,773	5%	306	0.522	0.117	0.693	0.115
		10%	612	1.043	0.234	1.386	0.229
		20%	1,223	2.087	0.468	2.772	0.459
		30%	1,835	3.130	0.701	4.159	0.688
		40%	2,446	4.173	0.935	5.545	0.917
		50%	3,058	5.217	1.169	6.931	1.147
고수 부지	772,775	5%	1,316	2.245	0.503	2.983	
		10%	2,633	4.491	1.006	5.967	
		20%	5,265	8.981	2.013	11.933	
		30%	7,898	13.472	3.019	17.900	
		40%	10,530	17.963	4.025	23.867	
		50%	13,163	22.454	5.031	29.833	

4) 대전시 하천에서 수생식물의 CO₂ 함량

대전시 전체 하천 면적과 고수부지 면적에 대해서 수생식물에 따른 CO₂ 흡수량을 알아보기 위하여 수생식물이 하천과 고수부지 면적의 20%만큼 서식하고 있다고 가정했을 때, 각각의 수생식물에 따른 CO₂ 함량을 산정하여 <표 4-61>과 <표 4-62>에 나타내었다.

대전시 전체 하천을 대상으로 수면적의 20%만큼 애기부들이 서식한다고 했을 때, 총 3,316 tCO₂/yr의 이산화탄소가 흡수되며, 다음으로 탄소함량이 높았던 갈대가 서식하면 2,498 tCO₂/yr, 달뿌리풀은 559 tCO₂/yr, 부엽식물인 마름이 하천의 20%를 피복한다면 550 tCO₂/yr의 CO₂ 저감 효과를 나타내는 것으로 조사되었다. 이를 바탕으로 산정한 대전시 전체 하천에서 수생식물의 CO₂ 흡수량 평균은 1,731 tCO₂/yr으로 2007년 대전시에서 배출된 CO₂ 총배출량인 857만 톤의 0.02%에 해당한다.

또한 하천변 고수부지 면적의 20%만큼 애기부들이 서식하고 있을 때, 총 4,509 tCO₂/yr의 이산화탄소가 애기부들에 의해 흡수되며, 갈대가 같은 면적을 피복했을 때는 3,393 tCO₂/yr, 달뿌리풀의 경우 760 tCO₂/yr의 CO₂가 흡수됨을 알 수 있었다. 전체 고수부지 면적의 20%에서 수생식물에 의한 CO₂ 흡수량 평균은 2,887 tCO₂/yr으로 산정되었으며, 이는 2007년 대전시의 CO₂ 총배출량의 0.03%이다.

수생식물 중 갈대와 애기부들은 정수식물 또는 추수식물로, 수생식물에 의해 수중의 영양물질의 제거를 위해서는 줄기나 잎에서 흡수한 영양염류가 지하부로 전이되기 전에 절취하여 수질정화 효과에 유리하다. 이와 같은 수생식물을 이용하여 이산화탄소 및 수중 부영양화 물질을 제거하기 위해서는 식재식물 선정 시 건중량당 탄소, 질소, 인 등의 성분함량이 높고 서식면적당 지상부 생산량이 높은 수생식물을 선정하여 식재하는 것이 수생식물을 이용한 물질제거량을 높일 수 있을 것이다. 최명재 등(2007)⁴⁶⁾의 연구에서는 달뿌리풀과 갈대가 효과적인 수질개선 효과를 나타냈다.

46) 최명재, 변명섭, 박혜경, 전남희, 윤석환, 공동수, 팔당호 인공 수초재배소에서 수생식물의 생장 및 영양염류 제거 효율, 한국물환경학회지, 23(3), pp. 474-483, 2007

〈표 4-61〉 대전시 하천의 수생식물에 따른 CO₂ 함량
(단위 : tCO₂/yr)

하천명	지천명	하천				
		갈대	달뿌리풀	애기부들	마름	평균
합 계		2,498	559	3,316	550	1,731
갑천	소 계	1,707	382	2,266	376	1,183
	갑천	1,225	274	1,627	269	849
	두계천	247	55	328	54	171
	매노천	33	7	44	7	23
	관평천	3	0.575	3	0.564	2
	덕진천	2	0.396	2	0.388	1
	법동천	2	0.416	2	0.408	1
	탄동천	23	5	30	5	16
	반석천	30	7	40	7	21
	유성천	71	16	94	16	49
	화산천	40	9	53	9	28
	진잠천	30	7	40	7	21
	성전천	2	0.415	2	0.407	1
유등천	소 계	401	90	533	88	278
	유등천	342	77	454	75	237
	과례천	3	0.608	4	0.597	2
	오정천	11	3	15	3	8
	정생천	42	9	56	9	29
	금동천	2	0.524	3	0.514	2
	구완천	1	0.255	2	0.250	1
대전천	소 계	357	80	473	78	247
	대전천	327	73	435	72	227
	대사천	1	0.318	2	0.312	1
	대동천	28	6	37	6	19
주원천	-	19	4	81	4	27
용호천	-	12	3	51	3	17
신동천	-	2	0.468	9	0.459	3

〈표 4-62〉 대전시 고수부지의 수생식물에 따른 CO₂ 함량
(단위 : tCO₂/yr)

하천명	지천명	고수부지			
		갈대	달뿌리풀	애기부들	평균
합 계		3,393	760	4,509	2,887
갑천	소 계	2,227	499	2,960	1,895
	갑천	1,629	365	2,165	1,386
	두계천	264	59	350	224
	매노천	38	9	51	33
	관평천	11	2	14	9
	덕진천	5	1	7	4
	범동천	4	0.840	5	3
	탄동천	33	7	44	28
	반석천	41	9	55	35
	유성천	99	22	132	84
	화산천	44	10	58	37
	진잠천	53	12	71	45
	성전천	6	1	8	5
유등천	소 계	629	142	837	536
	유등천	551	124	732	469
	과례천	10	2	13	8
	오정천	15	3	20	13
	정생천	43	10	58	37
	금동천	7	2	9	6
	구완천	4	0.785	5	3
대전천	소 계	466	105	620	397
	대전천	426	95	565	362
	대사천	7	1	9	6
	대동천	34	8	46	29
주원천	-	29	6	38	24
용호천	-	32	7	43	27
신동천	-	9	2	12	8

4. 수생식물의 부가적 기능

1) 수질정화 기능⁴⁷⁾

수생식물은 수중의 영양염류를 제거해 수질을 정화하고, 어류와 동물성 플랑크톤 등 각종 수생생물의 산란 및 서식공간을 제공한다. 국내에서는 최근 수도권 상수원의 수질을 개선하기 위해 2,000만 수도권 주민의 식수원인 팔당호에 인공 수초섬을 처음으로 설치하여 갈대, 줄, 애기부들, 달뿌리풀 등의 수생식물이 식재되었다.

대부분의 수생식물은 생장기 동안 뿌리를 통해 흡수한 질소, 인 등의 영양염류를 잎과 줄기 등에 저장하고 있다가 기온이 하강되어 지상부가 고사하기 전 다음해 생장을 위해 영양염류를 뿌리로 전이시킨다.

수중 영양물질의 제거를 위해 수초재배섬 수생식물의 지상부를 제거할 때는 고사기가 시작되어 줄기나 잎의 영양염류가 지하부로 전이되기 전에 절취해야 한다. 수생식물의 성장은 봄철 성장하기 시작하면서 1~2개월 만에 최대성장에 이른다. 또한 연간 지상부 절취 횟수를 늘려 지상부 제거량을 늘리고, 고사기에는 지상부의 인, 질소 성분이 뿌리로 전이되므로 성장이 완료된 시점보다는 인, 질소 성분이 뿌리로 전이되기 전에 절취를 하는 것이 유리하다.

식재식물 선정 시 건중량당 질소, 인 등의 성분함량이 높고 서식면적당 지상부 생산량이 높은 수생식물인 달뿌리풀, 갈대 등을 선정하여 식재하는 것이 수초재배섬에 의한 물질제거량을 높일 수 있다.

2) 미생물의 성장표면과 탄소원 제공⁴⁸⁾

수처리 습지에서 수생식물의 가장 중요한 기능은 침수되고 물힌 식물체 부위가 양분을 흡수하고 산화환원반응으로 변형시키는 세균, 조류, 원생동물의 생장을 위한 표면적을 제공하는 것이다. 이러한 바이오필름은 용존유기물을 분해함으로써 살수여상 처리시설과 같은 기능을 한다. 침수된 식물표면과 근권의 미생물은 습지 미생물 활성의 대부분을 차지한다.

47) 최명재(2008), 팔당호 인공수초재배섬 수생식물의 생장 특성 및 영양염류 제거에 관한 연구, 서울시립대학교 도시과학대학원 석사학위논문

48) 지광재(2006), 수처리 인공습지의 수생식물 이용, 농어촌과 환경, 93, pp. 91-104

탈질세균은 에너지원으로 탄소를 요구한다. 미생물 대사를 위한 충분한 탄소가 존재하면, 탈질작용은 향상된다. 습지식물의 뿌리와 뿌리 삼출액은 유기탄소를 토양에 배출한다. 식생과 탄소 유용성의 연관은 높은 질소부하를 효과적으로 처리할 수 있는 생태적으로 중요한 특징이다.

3) 식생의 물리적 효과

수생식물은 유속을 늦추고 입자성 유기물, 부유물질과 이에 연관된 양분의 여과와 침전을 유도한다. 유속이 감소하면서 처리수와 퇴적물과 식물표면의 접촉시간이 늘어나고 흡착과 미생물작용에 의한 수처리 능력이 증가한다. 수생식물 군락이 퇴적을 증가시키지만 식생이 너무 조밀하면, 물이 식생 속을 통과하기보다는 그 주위를 우회할 수 있다.

식생은 바람, 파도, 유속에 대하여 버퍼로 작용하기 때문에 침식의 위험을 감소시킨다. 대형 수생식물의 무성한 뿌리는 침식골 형성을 저지한다. 대형 수생식물이 출현할 때 풍속이 토양 가까이에서 감소하여 퇴적물의 재부유가 감소된다.

제4절 하천 증발산이 에너지 소모에 미치는 영향

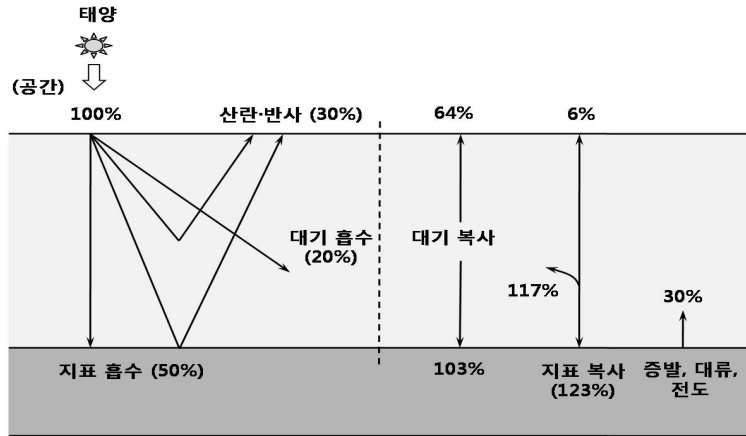
1. 에너지 수지

1년 동안 지구가 태양으로부터 흡수하고 방출하는 복사 에너지 양을 지구의 열 수지라고 한다. 태양으로부터 오는 복사 에너지 중에서 지구 대기권 가장 자리까지 들어오는 양을 100%이라 할 때, 이 중 30%는 지표면과 구름의 반사 및 대기의 산란에 의해 다시 공간으로 되돌아가는데, 이를 지구의 반사율이라고 한다. 따라서 나머지 70%가 지구의 대기와 지표면에 의해 흡수되는데 20%가 지구 대기에 흡수되고, 50%는 지표면에 흡수된다.

그런데 지구가 방출하는 복사 에너지는 모두가 공간으로 빠져 나가지 못하고 대기 중의 온실 기체들에 의해 흡수된 후 다시 지표면으로 방출되는데, 그 양은 약 103%이다. 이 103%의 에너지는 대기가 있기 때문에 나타나는 온실효과 또는 대기 효과로 인한 것이다.

한편 지표면이 방출하는 에너지양은 대류와 전도, 잠열에 의해 30%, 복사 에너지 형태로는 123%를 방출하여 총 153%를 방출한다. 따라서 지표면은 태양으로부터 50%, 대기로부터 103%를 흡수하여 총 153%를 흡수하고, 다시 153%를 방출하여 열평형을 이룬다. 또, 대기는 태양으로부터 20%, 지표면으로부터 147%를 흡수하여 총 167%를 흡수하고 다시 지표면으로 103%, 공간으로 64%를 방출함으로써 역시 열평형을 이룬다.

지구 전체로 볼 때는 태양으로부터 70%를 흡수하고 다시 70%를 방출하여 열평형을 이루는데, 이것은 오랜 기간 동안 지구의 평균 온도가 일정하게 유지되는 것으로부터 알 수 있다.



[그림 4-4] 태양복사와 지구복사에 의한 에너지 수지

태양복사 에너지 흡수 : 100%

태양복사 에너지 방출(반사 30%, 대기복사 64%, 지표복사 6%) : 100%

대기의 에너지 흡수(태양복사 20%, 지표복사 117%, 잠열 20%, 현열 10%) : 167%

대기의 에너지 방출(대기복사 167%) : 167 %

지표의 에너지 흡수(태양복사 50%, 대기복사 103%) : 153%

지표의 에너지 방출(지표복사 123%, 현열 10%, 잠열 20%) : 153%

2. 대전시 하천에서의 증발산열량

1) 증발산

증발산(evapotranspiration)은 지면에서의 증발(evaporation)과 토양 중의 수분이 초목의 뿌리에 흡수되고 식물체를 통하여 위로 올라간 후 수증기로서 공기 중으로 달아나는 식물의 증산(transpiration) 작용에 의해 발생하는 지표에서 대기로의 물 순환 과정을 의미한다.⁴⁹⁾ 지면에서의 증발은 지표면의 토양으로부터의 증발과 식물의 잎 등에 의해 차단된 강수의 직접 증발 등이 있다. 증발산은 지표와 대기 간 물 순환의 중요한 요소로 지면에 떨어지는 강수의 대략 70% 정도가 증발산 과정을 거쳐 다시 대기로 되돌아간다. 따라서 식물체로 뒤덮인 지표면에서 일어나는 증발산과 호수, 강 등의 물 표면에서 일어나는 증발은 물수지 연구에 중요한 요소

49) 기상연구소, 우리나라의 증발산량 분포 특성, 1998

이며, 또한 액체 상태의 물이 기체 상태의 수증기로 변화하여 대기로 증발될 때 발생하는 지표의 열량 손실은 지구 대기계의 에너지 순환에 중요한 역할을 한다.

2) 하천에서의 증발산

가득찬 물은 보기에만 시원한 게 아니라 그 물이 증발할 때 주위의 열을 흡수하여 기화하기 때문에 온도를 냉각시키는 효과가 있다. 섭씨 28도에서 1 kg의 물이 증발하면서 약 580 kcal의 열량을 빼앗아 가며 이런 메커니즘을 통해서 기온이 내려가는 효과를 내는 것이다.

3) 대전시 하천에서의 증발산량

대전시 하천에서의 증발산 작용으로 인한 대기열 감소 효과를 알아보려고 본 연구에서는 J.R. Eagleman(1967)⁵⁰의 방법으로 월별 최대 증발산량을 산정하였다. Eagleman 방법은 월 평균 온도와 습도 자료를 이용하여 월별 최대 증발산량 분포를 구하는 것으로, 기상연구소(1998)의 증발량 분포와 비교한 결과, Eagleman의 방법을 적용한 결과와 증발량 분포가 서로 유사하였다. 한편 J.R. Eagleman 방법은 아래의 식과 같이 월별 최대 증발산량을 계산한다.

$$E_T = C(0.035e_s) \cdot (100 - RH)^{1/2}$$

여기서, E_T 는 월별 최대 증발산량, inch/month

e_s 는 월평균 기온에 대응하는 포화 수증기압, mb

RH 는 월평균 상대 습도, %

C 는 식생 순환(vegetation cycle) 변수로 온도의 함수이다.

즉, $C = 0.20 + 0.0133T$ (30 ~ 70 °F)

$C = 0.60$ (T > 70 °F)

$C = 1.13$ (T < 30 °F)

50) Eagleman, J. R.(1967), Pan evaporation, potential and actual evapotranspiration, J. Appli. Meteor., 6, pp. 482-488

J.R. Eagleman(1967)의 방법으로 산정한 대전시 하천에서의 월별 일최대 증발산량은 <표 4-63>과 같으며, 갑천 본류에서는 5월에 20,974 m³/day의 증발산이, 유등천 본류에서는 4,934 m³/day, 대전천에서는 4,381 m³/day의 증발산 작용이 일어난 것으로 나타났다. 대전시 전체 하천에서는 5월에 30,686 m³/day의 증발산량을 보여 가장 많은 증발산이 이루어지는 것으로 산정되었다. 반면 가장 증발산량이 적게 발생한 달은 2월로 하루에 5,575 m³의 증발산이 일어나는 것으로 나타났다.

<표 4-63> 대전시 하천의 월별 일최대 증발산량(2008)

(단위 : m³/day)

하천명	지천명	1월	2월	3월	4월	5월	6월
합 계		5,578	5,575	12,132	22,599	30,686	18,312
갑천	소 계	3,812	3,810	8,293	15,446	20,974	12,516
	갑천	2,738	2,736	5,954	11,090	15,059	8,986
	두계천	551	551	1,199	2,233	3,032	1,809
	매노천	74	74	160	298	405	242
	관평천	6	6	12	23	32	19
	덕진천	4	4	9	16	22	13
	범동천	4	4	9	17	23	14
	탄동천	50	50	110	204	277	166
	반석천	66	66	145	269	366	218
	유성천	158	158	344	642	871	520
	화산천	89	89	194	361	490	292
	진잠천	68	68	148	276	374	223
	성전천	4	4	9	17	23	14
유등천	소 계	896	896	1,950	3,634	4,934	2,945
	유등천	763	763	1,660	3,093	4,199	2,506
	과례천	6	6	13	25	33	20
	오정천	25	25	55	103	140	84
	정생천	94	94	205	382	519	310
	금동천	5	5	11	21	29	17
	구완천	3	3	6	10	14	8
대전천	소 계	797	796	1,732	3,227	4,381	2,615
	대전천	732	731	1,591	2,964	4,025	2,402
	대사천	3	3	7	13	17	10
	대동천	62	62	134	250	339	203
주원천	-	42	42	90	168	228	136
용호천	-	26	26	57	105	143	85
신동천	-	5	5	10	19	26	15

〈표 4-63〉 대전시 하천의 월별 일최대 증발산량(2008) (표 계속)

(단위 : m³/day)

하천명	지천명	7월	8월	9월	10월	11월	12월
합 계		21,247	20,330	17,886	18,988	10,777	5,973
갑천	소 계	14,521	13,894	12,224	12,977	7,366	4,082
	갑천	10,427	9,977	8,778	9,317	5,290	2,932
	두계천	2,099	2,009	1,767	1,876	1,065	590
	매노천	280	268	236	251	142	79
	관평천	22	21	18	20	11	6
	덕진천	15	14	13	13	8	4
	법동천	16	15	13	14	8	4
	탄동천	192	184	162	172	97	54
	반석천	253	242	213	226	128	71
	유성천	603	577	508	539	306	170
	화산천	339	324	285	303	172	95
	진잠천	259	248	218	232	131	73
	성전천	16	15	13	14	8	4
유등천	소 계	3,417	3,269	2,877	3,054	1,733	961
	유등천	2,908	2,782	2,448	2,598	1,475	818
	과례천	23	22	19	21	12	6
	오정천	97	93	82	87	49	27
	정생천	359	344	303	321	182	101
	금동천	20	19	17	18	10	6
	구완천	10	9	8	9	5	3
대전천	소 계	3,034	2,904	2,554	2,711	1,539	853
	대전천	2,787	2,667	2,346	2,490	1,414	784
	대사천	12	12	10	11	6	3
	대동천	235	225	198	210	119	66
주원천	-	158	151	133	141	80	44
용호천	-	99	95	83	89	50	28
신동천	-	18	17	15	16	9	5

4) 대전시 하천에서의 증발산열량

앞에서 산출한 대전시 하천에서의 증발산량을 바탕으로 <표 4-64>의 증발산 환산계수⁵¹⁾를 사용하여 증발산열량으로 환산하였다.

<표 4-64> 증발산 환산계수

증발산	깊이	체적/단위면적		에너지/단위면적
	mm/day	m ³ /ha · day	l/s · ha	MJ/m ² · day
mm/day	1.000	10.000	0.116	2.450
m ³ /ha · day	0.100	1.000	0.012	0.245
l/s · ha	8.640	86.400	1.000	21.170
MJ/m ² · day	0.408	4.082	0.047	1.000

<표 4-65>에서와 같이 대전시 하천에서 하루에 발생하는 증발산열량은 월평균 $9,272 \times 10^6$ kcal/day를 나타냈으며, 전체 하천에서 발생한 증발산열량 또한 5월에 $17,960 \times 10^6$ kcal/day로 가장 높았다. 반면 2월에는 $3,264 \times 10^6$ kcal/day의 가장 낮은 증발산열량이 흡수되는 것으로 나타났다. 이렇게 산정된 증발산 열량은 하천에서 증발산을 통해 그만큼의 열량을 빼앗아 대기열을 감소시켜 대기냉각효과를 가져오게 된다.

51) 한국환경정책·평가연구원, 기후변화영향평가모형 개발, 2004

<표 4-65> 대전시 하천의 월별 일최대 증발산열량(2008)(단위 : 10³kcal/day)

하천명	지천명	1월	2월	3월	4월	5월	6월
합 계		3,265,145	3,263,840	7,101,707	13,227,173	17,960,565	10,718,283
갑천	소 계	2,231,588	2,230,696	4,853,715	9,040,211	12,275,284	7,325,491
	갑천	1,602,319	1,601,678	3,485,051	6,491,027	8,813,864	5,259,828
	두계천	322,621	322,492	701,703	1,306,946	1,774,641	1,059,048
	매노천	43,090	43,073	93,722	174,560	237,027	141,450
	관평천	3,355	3,354	7,297	13,591	18,454	11,013
	덕진천	2,312	2,311	5,028	9,365	12,716	7,589
	범동천	2,430	2,429	5,284	9,842	13,364	7,975
	탄동천	29,524	29,512	64,215	119,602	162,402	96,917
	반석천	38,896	38,881	84,600	157,570	213,957	127,683
	유성천	92,691	92,654	201,602	375,492	509,863	304,269
	화산천	52,096	52,075	113,309	211,041	286,563	171,012
	진잡천	39,831	39,815	86,632	161,355	219,096	130,749
	성전천	2,424	2,423	5,273	9,821	13,335	7,958
	유등천	소 계	525,085	524,875	1,142,061	2,127,129	2,888,329
유등천		446,844	446,666	971,888	1,810,175	2,457,953	1,466,827
과례천		3,552	3,550	7,725	14,388	19,537	11,659
오정천		14,905	14,899	32,419	60,381	81,988	48,928
정생천		55,236	55,214	120,140	223,764	303,839	181,321
금동천		3,061	3,060	6,658	12,401	16,839	10,049
구완천		1,486	1,485	3,232	6,020	8,174	4,878
대전천	소 계	466,211	466,024	1,014,010	1,888,629	2,564,482	1,530,400
	대전천	428,237	428,066	931,417	1,734,797	2,355,600	1,405,746
	대사천	1,855	1,854	4,035	7,515	10,204	6,090
	대동천	36,119	36,104	78,558	146,317	198,677	118,564
주원천	-	24,306	24,296	52,865	98,462	133,697	79,786
용호천	-	15,226	15,220	33,118	61,683	83,756	49,983
신동천	-	2,730	2,729	5,938	11,059	15,017	8,962

<표 4-65> 대전시 하천의 월별 일최대 증발산열량(2008) (표 계속)(단위 : 10³kcal/day)

하천명	지천명	7월	8월	9월	10월	11월	12월
합 계		12,436,092	11,900,086	10,469,058	11,112,341	6,309,046	3,496,748
갑천	소 계	8,499,541	8,133,203	7,155,156	7,594,813	4,311,965	2,389,879
	갑천	6,102,816	5,839,780	5,137,525	5,453,206	3,096,065	1,715,974
	두계천	1,228,781	1,175,820	1,034,423	1,097,984	623,382	345,506
	매노천	164,120	157,046	138,161	146,651	83,261	46,147
	관평천	12,778	12,227	10,757	11,418	6,482	3,593
	덕진천	8,805	8,425	7,412	7,868	4,467	2,476
	법동천	9,254	8,855	7,790	8,269	4,695	2,602
	탄동천	112,449	107,603	94,663	100,480	57,047	31,618
	반석천	148,146	141,761	124,714	132,377	75,157	41,655
	유성천	353,034	337,818	297,194	315,456	179,101	99,265
	화산천	198,420	189,867	167,035	177,299	100,662	55,791
	진잠천	151,704	145,166	127,709	135,556	76,962	42,656
	성전천	9,233	8,835	7,773	8,250	4,684	2,596
유등천	소 계	1,999,911	1,913,713	1,683,582	1,787,032	1,014,590	562,330
	유등천	1,701,914	1,628,560	1,432,719	1,520,755	863,410	478,540
	과례천	13,528	12,945	11,388	12,088	6,863	3,804
	오정천	56,770	54,323	47,790	50,727	28,800	15,962
	정생천	210,381	201,314	177,105	187,987	106,730	59,155
	금동천	11,659	11,157	9,815	10,418	5,915	3,278
	구완천	5,660	5,416	4,764	5,057	2,871	1,591
대전천	소 계	1,775,675	1,699,142	1,494,814	1,586,665	900,831	499,280
	대전천	1,631,044	1,560,744	1,373,059	1,457,428	827,457	458,613
	대사천	7,066	6,761	5,948	6,313	3,584	1,987
	대동천	137,566	131,637	115,807	122,923	69,790	38,681
주원천	-	92,573	88,583	77,931	82,720	46,964	26,030
용호천	-	57,994	55,494	48,821	51,820	29,421	16,306
신동천	-	10,398	9,950	8,753	9,291	5,275	2,924

3. 증발산에 의한 온도 변화 및 에너지 절감효과

1) 일사량과 증발산량 비교

증발산은 다양한 기후요소 즉 일사량, 바람, 지표면의 식생분포, 토양상태, 대기 온도, 습도 등과 상관되어 발생한다. 2008년도 대전시 전체 하천에서 발생한 증발산열량과 대전시 전체 일사량 모두 5월에 가장 높았으며, 일사량이 많을 때 증발산열량 또한 증가하는 추세를 보여, 일사량이 증발산 작용에 영향을 주는 요소임을 알 수 있었다.

하천에서의 증발산 작용은 태양복사에너지를 흡수하여 주변의 온도를 낮추는 효과를 낸다. <표 4-66>과 같이 대전시 전체 면적에 입사하는 월별 일평균 일사량과 하천의 증발산열량을 비교한 결과, 대전시 전체 일사량에 대한 증발산열량의 비율은 월평균 0.48%를 나타냈다. 일사량에 대해 가장 많은 증발산열량을 냈던 시기는 10월이며, 가장 낮은 달은 2월로 그 비율은 0.19%이다.

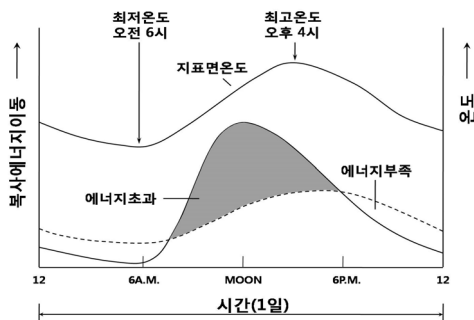
<표 4-66> 일사량과 증발산열량 비교(2008)

월	일사량 (kcal/m ² /day)	대전시 전체 일사량 (10 ⁶ kcal/day) [A]	대전시 하천의 증발산열량 (10 ⁶ kcal/day) [B]	[B] / [A] × 100
1월	1,961	1,058,686	3,265	0.31
2월	3,266	1,763,182	3,264	0.19
3월	3,670	1,981,053	7,102	0.36
4월	4,375	2,361,783	13,227	0.56
5월	5,058	2,730,161	17,961	0.66
6월	4,258	2,298,251	10,718	0.47
7월	3,744	2,020,863	12,436	0.62
8월	4,428	2,390,342	11,900	0.50
9월	3,751	2,024,693	10,469	0.52
10월	2,961	1,598,553	11,112	0.70
11월	2,242	1,209,993	6,309	0.52
12월	1,866	1,006,979	3,497	0.35

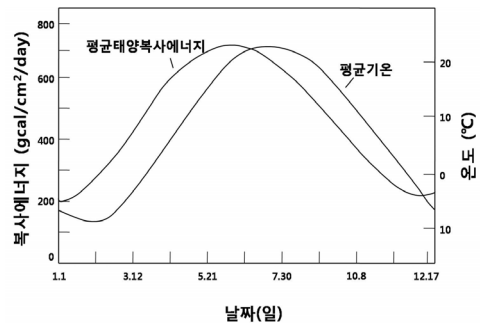
2) 기온의 일별 변화⁵²⁾

기온은 낮 동안에는 올라가고 밤에는 내려가게 되며 지면으로 태양복사에너지가 최대 유입될 때와 온도가 가장 높은 때와는 몇 시간의 차이가 나게 된다. 이러한 차이는 [그림 4-5]와 같이 최대 태양복사에너지 유입과 지구로부터 방출되는 최대 복사에너지의 발생시각 차이 때문에 생긴다. 육지에서 하루 동안의 온도변화는 바다에서의 온도변화보다 크게 나타나는데 바다는 물속에 에너지를 보다 효과적으로 분포시켜 빠르게 온도가 변하는 것을 억제하기 때문이다.

계절적인 온도변화 또한 유입되는 태양복사에너지의 연중 분포와 매우 밀접한 관계를 가진다. [그림 4-6]은 전형적인 태양복사에너지와 기온의 연중 분포를 보여주고 있으며 지구로 유입되는 태양복사에너지와 지구로부터 지체되어 방출되는 태양복사에너지의 차이로 인해 최고치의 발생 시기에 차이가 나타나고 있다. 이러한 완충효과는 바다나 바다에 의해 영향을 받는 지역에서 더욱 뚜렷하게 나타나며 북반구인 경우 최대 및 최저 기온은 8월과 2월에 나타나며, 대륙지역에서는 최대 및 최저기온이 7월과 1월에 각각 발생한다.



[그림 4-5] 복사에너지 수지에 따른 일별 기온변화

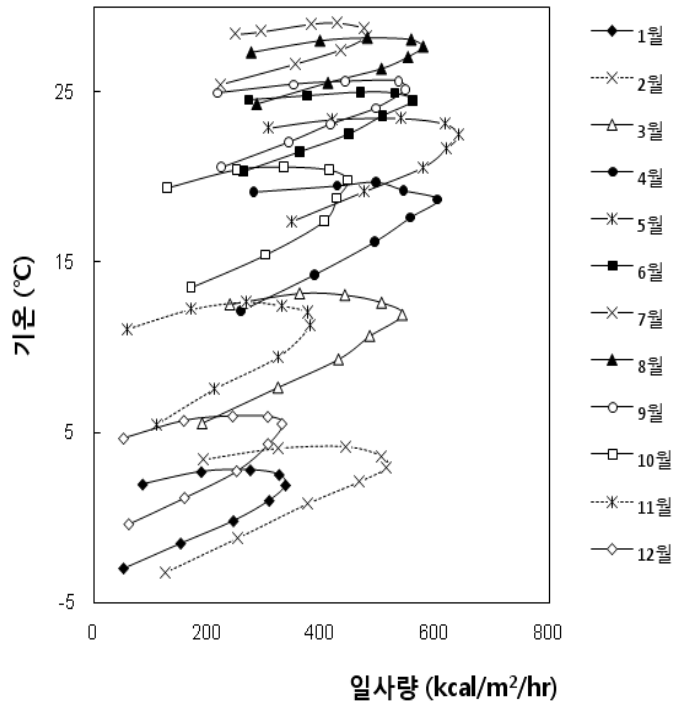


[그림 4-6] 연간 태양복사에너지 유입에 따른 기온의 변화

[그림 4-7]은 대전시의 2008년도 월별 기온과 일사량의 09시부터 17시까지 시간에 따른 변화를 나타낸 것이다. 하루 중 기온이 가장 높았던 시간은 3월에는 16

52) 윤용남, 기초수문학, 청문각

시였으며, 나머지 달에서는 모두 오후 3시로 나타났다. 또한 일사량이 가장 높았던 시간은 7월 제외하고는 모두 13시였으며, 7월에는 12시에 가장 높은 일사량을 받는 것으로 조사되었다.



[그림 4-7] 월별 일사량과 기온과의 관계(2008)

3) 온도 저감효과

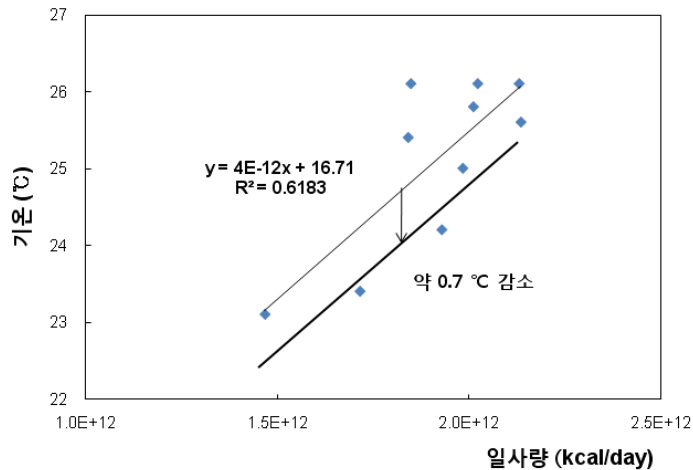
도시에서 하천의 역할은 물 순환, 동식물의 서식처 제공, 친수 공간 제공 등을 비롯하여 도심의 열섬현상을 완화시키는 역할을 한다. 이에 본 연구에서는 대전시의 지난 10년간 전체 일사량과 평균기온, 증발산열량의 7월 자료를 토대로 대전시의 하천에서 발생하는 증발산 작용을 통해 한여름의 저감 가능한 온도를 산정하였다.

[그림 4-8] 과 같이, 연도별 대전시 전체 일사량과 평균기온과의 상관관계를 도출한 후, 하천에서 흡수한 증발산 열량만큼 태양복사에너지가 감소하였을 때 변화

되는 온도를 산정한 결과, 여름철 일 최대 약 0.7 °C의 온도를 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 이처럼 대전시 하천에서의 증발산 작용은 도시열섬 현상을 완화하여 도시의 기후를 개선하는 역할을 한다.

<표 4-67> 연도별 일사량과 증발산열량 비교(7월)

년도	대전시 전체 일사량 (10 ⁶ kcal/day) [A]	평균기온 (°C)	증발산열량 (10 ⁶ kcal/day) [B]	[A] - [B] (10 ⁶ kcal/day)
1999	1,982,109	25.0	8,214	1,973,895
2000	2,133,790	25.6	8,949	2,124,841
2001	2,128,932	26.1	9,516	2,119,416
2002	2,009,638	25.8	9,605	2,000,033
2003	1,713,833	23.4	8,800	1,705,033
2004	1,846,622	26.1	9,693	1,836,929
2005	1,839,522	25.4	9,134	1,830,388
2006	1,466,059	23.1	9,490	1,456,569
2007	1,927,302	24.2	8,797	1,918,505
2008	2,020,974	26.1	9,272	2,011,702



[그림 4-8] 일사량 변화에 따른 기온감소 효과

4) 에너지 절감효과 및 기대 CO₂ 배출 억제량

하천의 증발산 작용을 통해 태양복사에너지를 흡수하여 여름철 도시 열섬현상을 완화할 수 있는데, 7월에 감소될 수 있는 일 최대 온도는 0.7 °C로 냉방에 필요한 에너지를 그만큼 감소시킬 수 있게 된다.

에너지 절약을 통해 배출되는 이산화탄소의 양을 절감하고자 적정 실내온도를 유지하자는 녹색생활운동이 실천되고 있는데, 여름철 실내온도가 밖의 온도보다 5 °C 이상 낮은 것은 건강에 해롭다. 또한 실내온도를 1 °C씩 낮추는데 전력소모는 7%씩 늘어나므로 실내온도는 늘 일정하게 고정해두는 것보다 외부온도에 따라 적당히 조절하는 것이 좋다.

에어컨이 설치된 13만 가정이 실내온도를 1 °C 높이면 이산화탄소 배출량이 연간 2만 2천 톤을 감소할 수 있다. 따라서 여름철 실내온도를 1 °C 높이면 연간 가구당 169.2 kgCO₂를 줄일 수 있으며, 399 kWh의 에너지를 절감할 수 있다. 에어컨이 설치된 5만 가정이 여름철 온도를 1 °C 높인다면, 연간 8,459톤의 CO₂ 배출을 억제할 수 있다. 이에 증발산에 의해 낮아진 0.7 °C 만큼을 냉방에서 필요한 에너지를 절감할 경우, 한 가정에서 연간 약 279 kWh의 전기가 절감되며, CO₂는 약 118.3 kgCO₂/yr/가구를 감소할 수 있다. <표 4-68>과 같이 0.7 °C 온도저감에 따른, 5만 가구에서 기대할 수 있는 CO₂ 배출 억제량은 5,921 tCO₂/yr이며, 10만 가구일 때는 11,842 tCO₂/yr의 온실가스를 저감효과가 기대된다.

<표 4-68> 에너지절감 효과 및 CO₂ 절감량

	온도저감효과 1.0 °C일 때			온도저감효과 0.7 °C일 때		
	5만 가구	7.5만 가구	10만 가구	5만 가구	7.5만 가구	10만 가구
에너지 절감량 (kWh/yr)	19,950,000	29,925,000	39,900,000	13,965,000	20,947,500	27,930,000
CO ₂ 절감량 (tCO ₂ /yr)	8,459	12,688	16,918	5,921	8,882	11,842

4. 하천의 열섬효과 저감 능력

1) 도시 열섬현상

도시 기온은 일사량과 도시를 구성하는 물질의 열 흡수 및 저장 능력에 의해 결정된다. 지구는 태양복사 에너지를 흡수하지만 모두 흡수하는 것은 아니며 그 일부를 우주 공간에 반사하고 있는데, 그 반사율을 알베도라고 한다. 지표면을 구성하는 재료는 특성에 따라 서로 다른 알베도를 가지고 있으며 도시의 지표면을 구성하는 대부분의 재료인 콘크리트 등은 낮은 알베도를 가지고 있다. 도시열섬 현상은 1차적으로 이와 같은 콘크리트 빌딩과 아스팔트 도로 포장 등 도시 공간을 구성하는 재료에서 비롯된다. 또한 도시의 구조물들은 농촌의 구조물에 비해 많은 표면적을 갖고 있는데, 지붕, 벽과 가로는 받아들인 열에너지를 다시 다른 표면으로 방출하는 높은 승수효과를 내는 반사체로 작용하게 된다. 따라서 엄청난 체적을 통해 많은 양의 공기를 일시에 덥게 만드는 고도의 가열 시스템이 형성되는 것이다.⁵³⁾

이와 같은 도시 고온화 현상을 저감시키는 방법으로 물이나 식생의 도입을 들 수 있다. 일반적으로 하천은 증발하면서 많은 양의 열을 흡수한다. 물을 증발시키는데 필요한 에너지는 대기와 태양 빛으로부터 얻으며, 그 결과로 대기의 기온이 하강한다. 식물의 경우에는 증산작용이라는 신진대사 과정을 통해 자신이 흡수한 수분을 증발시킨다. 식물은 토양에서 수분을 흡수하여 잎을 통해 증발시키는데, 이러한 식물에 의한 증산작용이 습도와 온도의 조절을 돕게 된다.

2) 하천 주변 기온저감 및 범위

물이나 식생의 도입은 도시 고온화 현상을 저감시키는 중요한 인자이며, 하천의 규모 및 하천 주변 환경에 따라 기온저감효과는 다르게 나타날 것이다. 권영상(2004)⁵⁴⁾은 하천에 의한 기온저감량의 효과는 저수로 폭과 하천의 면적에 가장 큰 영향을 받으며, 저수로의 폭이 넓을수록 또한 하천의 면적이 넓을수록 기온 저감량

53) 이해선, 인공위성 영상자료를 이용한 녹지의 도시온도 저감효과에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문, 2001

54) 권영상, Landsat ETM+ 영상자료를 이용한 하천의 도시기온 저감효과 측정에 관한 연구, 서울대학교석사학위논문, 2004

도 증가함을 연구를 통해 밝혔다. 또한 하천주변여건에 따른 기온저감량과 기온저감 영향권 범위를 산정할 수 있는 식을 다음과 같이 제시하였다.

$$y_1 = 0.294 + 0.0161X_1 + 1.259X_2$$

여기서, y_1 : 기온저감량(°C)

X_1 : 저수로 폭(m)

X_2 : 하천면적(km²)

$$y_2 = 123.0 + 2.3X_1$$

여기서, y_2 : 기온저감범위(m)

X_1 : 저수로 폭(m)

대전시 전체 하천 중, 연장이 비교적 길고, 하천 면적이 넓은 갑천, 두계천, 유등천, 대전천은 <표 4-69>와 같이 세분화하여 하천별 기온저감량과 기온저감 효과가 나타나는 영향권 범위를 위의 식을 통해 산정하였다.

<표 4-69> 하천 구간 범위

하천명	구간
갑 천 1	금강 합류부 ~ 법동천 합류부
갑 천 2	법동천 합류부 ~ 유등천 합류부
갑 천 3	유등천 합류부 ~ 유성천 합류부
갑 천 4	유성천 합류부 ~ 두계천 합류부
갑 천 5	별곡천
갑 천 6	금곡천
두계천 1	두계천
두계천 2	농소천
두계천 3	왕대천
유등천 1	갑천 합류부 ~ 대전천 합류부
유등천 2	대전천 합류부 ~ 구완천 합류부
유등천 3	구완천 합류부 ~ 유등천
대전천 1	대전천 지방 1급
대전천 2	대전천 지방 2급

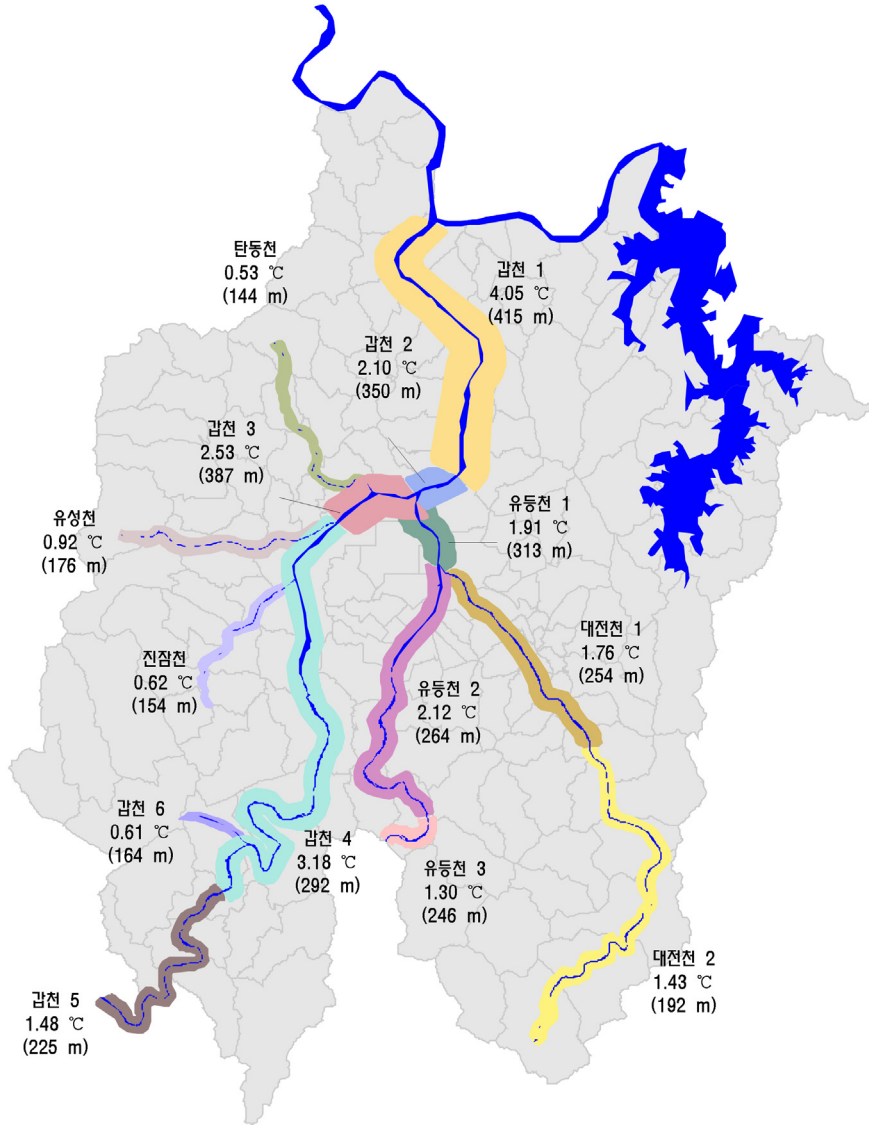
대전시 하천을 통해 예상되는 기온 저하 효과의 결과는 <표 4-70>과 같다. 갑천 1 구간은 범동천 합류지점에서부터 금강 합류지점까지로 수면적이 1.357 km², 평균 하폭 127.0 m로 가장 넓었으며 이로 인해 예상 기온저감량 또한 4.05 °C로 가장 높았다. 예상 기온저감 영향권 범위는 약 400 m이다. 반면 갑천 3 구간은 유성천 합류지점에서 유등천 합류지점까지의 범위이며 114.8 m의 평균하폭과 0.310 km²의 하천 면적을 유지하고 있다. 갑천 3 구간은 다른 하천에 비해 하천 면적이 비교적 작았으나 넓은 하천 폭에 의해 예상되는 기온저감량은 2.53 °C이며, 긴 하폭에 의해 기온저감범위가 387 m로 갑천 1 구간 다음으로 컸다.

이처럼 넓은 하천 면적과 긴 하폭을 유지하는 하천이 도시 내 많이 존재한다면, 친환경적 도시 경관을 조성할 뿐만 아니라 도시온도를 조절하여 도심 열섬현상을 완화하고, 기후변화 대응에 더욱 용이할 것이다.

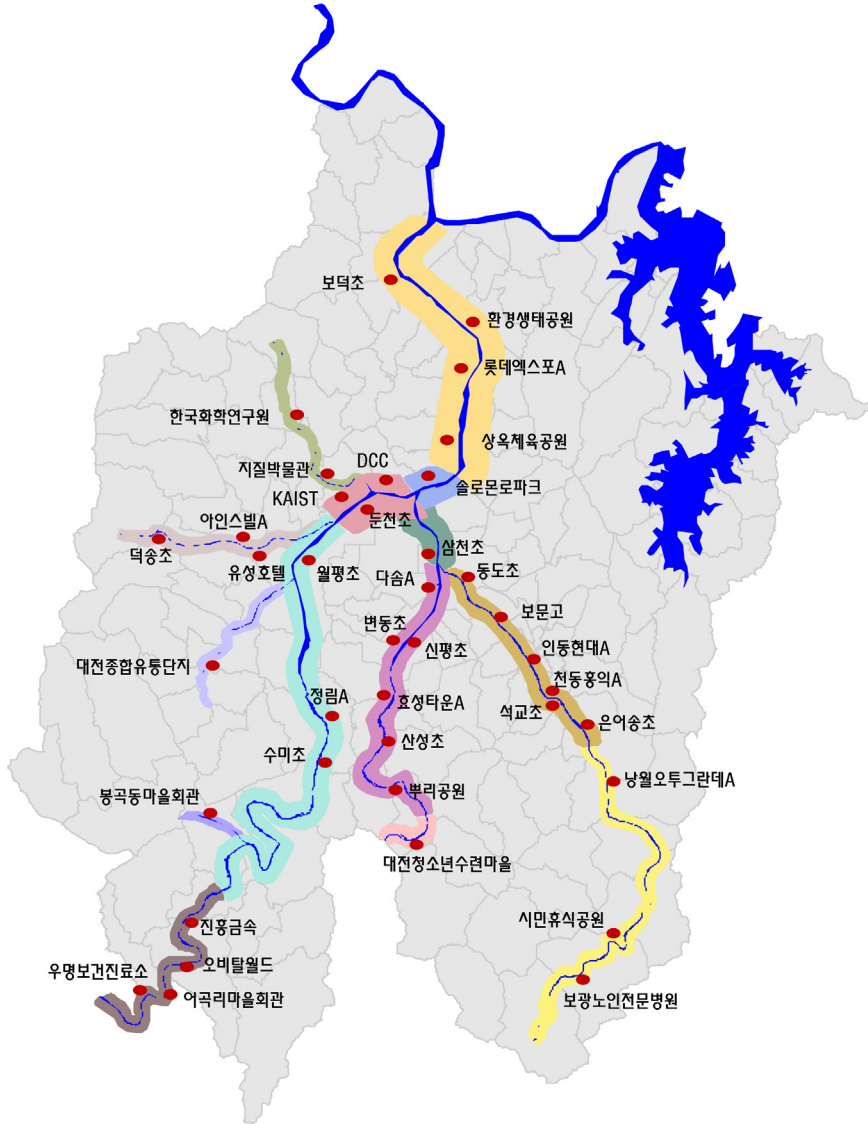
[그림 4-9] 는 대전시 주요 하천인 갑천, 유등천, 대전천, 탄동천, 유성천, 진잠천의 기온저감량과 기온저감범위를 나타낸 것이다. 또한 기온저감범위 내에 위치하는 아파트 및 학교 등의 분포를 [그림 4-10] 에 나타냈으며, 대전시 도심 중심부를 관통하는 갑천, 유등천, 대전천의 일부를 확대하여 하천 주변 기온저감 범위 내 아파트와 학교 등의 주요 시설을 [그림 4-11] 과 같이 표시하였다.

〈표 4-70〉 기온저감량 및 기온저감범위

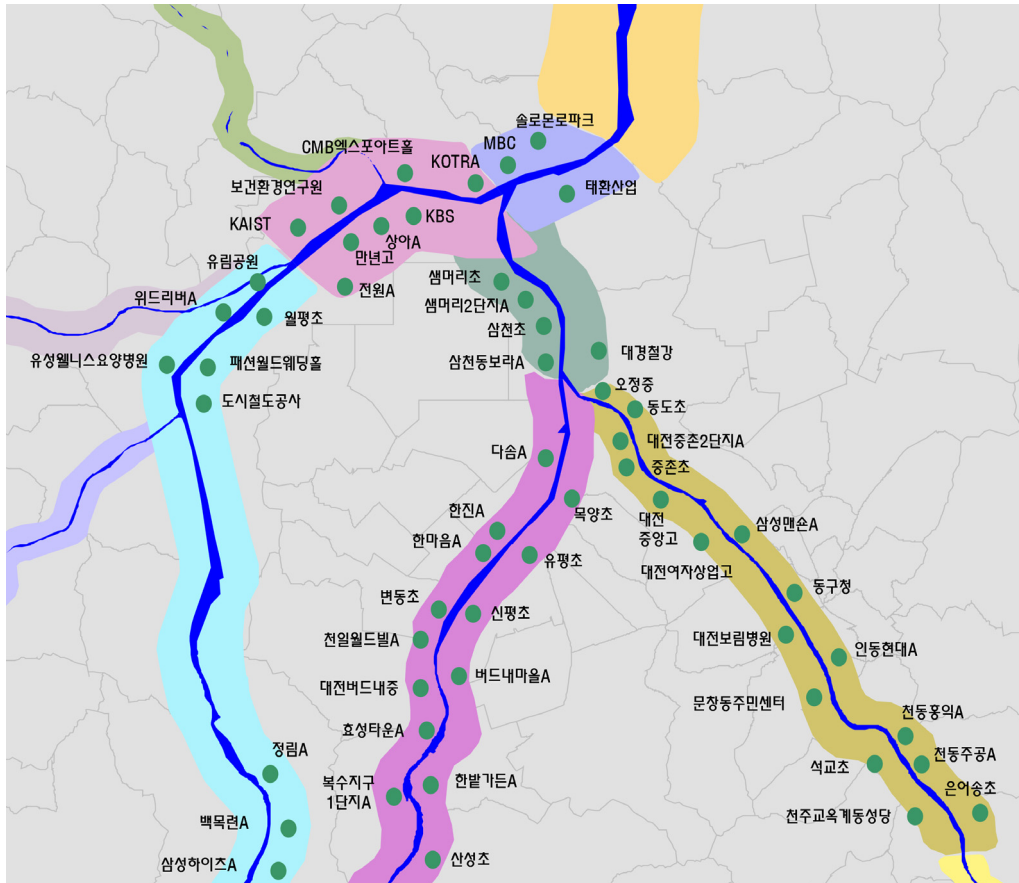
하천명	지천명	수면적 (km ²)	평균하폭 (m)	기온저감량 (℃)	기온저감범위 (m)
갑천	갑천 1	1.357	127.0	4.05	415
	갑천 2	0.177	98.5	2.10	350
	갑천 3	0.310	114.8	2.53	387
	갑천 4	1.354	73.5	3.18	292
	갑천 5	0.371	44.4	1.48	225
	갑천 6	0.021	18.0	0.61	164
	두계천 1	0.663	44.0	1.84	224
	두계천 2	0.004	2.0	0.33	128
	두계천 3	0.055	19.9	0.68	169
	매노천	0.097	28.8	0.88	189
	관평천	0.008	2.0	0.34	128
	덕진천	0.005	2.0	0.33	128
	법동천	0.005	2.0	0.33	128
	탄동천	0.066	9.3	0.53	144
	반석천	0.087	12.6	0.61	152
	유성천	0.208	22.9	0.92	176
	화산천	0.117	24.0	0.83	178
	진잠천	0.089	13.5	0.62	154
	성전천	0.005	2.0	0.33	128
유등천	유등천 1	0.225	82.5	1.91	313
	유등천 2	0.664	61.3	2.12	264
	유등천 3	0.113	53.5	1.30	246
	과례천	0.008	2.0	0.34	128
	오정천	0.033	9.0	0.48	144
	정생천	0.124	31.4	0.96	195
	금동천	0.007	2.0	0.33	128
	구완천	0.003	2.0	0.33	128
대전천	대전천 1	0.438	56.8	1.76	254
	대전천 2	0.521	29.8	1.43	192
	대사천	0.004	4.3	0.37	133
	대동천	0.081	15.5	0.65	159
주원천	-	0.054	27.0	0.80	185
용호천	-	0.034	6.4	0.44	138
신동천	-	0.006	2.0	0.33	128



[그림 4-9] 하천별 온도저감범위



(그림 4-10) 기온저감범위 내 주요시설



(그림 4-11) 도심 중심부 기온저감범위 내 주요시설

제 5 장

결론 및 정책제언

제1절 결 론

제2절 정책제언

제 5 장 결론 및 정책제언

제1절 결론

1. 온실가스 총저감량 및 비율

본 연구에서는 대전시의 수생태계에서 저감할 수 있는 온실가스 양을 산정하고자 하였다. <표 5-1>은 하천에서 이산화탄소를 흡수하는 각 요소별 CO₂ 저감량의 합계를 대전시에서 배출한 CO₂ 총배출량과 비교하였다.

<표 5-1> 대전시 하천에서의 온실가스 총저감량

구분	CO ₂ 저감량 (tCO ₂ /yr) [A]	[A] / [B] × 100
식물플랑크톤	14,630	0.17
수생식물	하천	1,731
	고수부지	2,887
하천 증발산에 의한 온도저감	11,842	0.14
합계	31,090	0.36
대전시 CO ₂ 배출량(2007) [B]	8,573,937	100

하천 내에서 조류를 통한 온실가스 저감량은 식물플랑크톤의 광합성량을 바탕으로 산정하였으며, 연간 총 14,630 tCO₂의 이산화탄소를 저감할 수 있다. 이는 2007년 대전시가 배출한 CO₂ 총배출량의 0.17%에 해당하는 양으로 본 연구의 대상이 된 CO₂ 흡수원 중 가장 많은 비율을 차지하였다. 또한 대전시 하천에서 우점하여 서식하고 있는 수생식물인 갈대, 달뿌리풀, 애기부들, 마름을 대상으로 대전시 하천 총면적의 20%를 각각의 식물이 피복할 때 흡수되는 평균 CO₂ 양을 산정한 결과, 1,730 tCO₂/yr로 산정되었고 이는 대전시 CO₂ 총배출량의 0.02%에 불과하다. 하천변 고수부지에서는 정수식물인 갈대, 달뿌리풀과 애기부들을 대상으로 하였으며, 고수부지 면적의 20%에 서식할 때 흡수되는 평균 CO₂는 2,887 tCO₂/yr이며, 대전시

CO₂ 배출량의 0.03%에 해당한다. 하천의 증발산 작용에 의해 감소되는 온도는 일 최대 약 0.7 °C이며, 저감된 온도만큼 여름철 냉방온도를 높였을 때, 10만 가구에서 저감할 수 있는 CO₂의 양은 연간 11,842 tCO₂/yr로 나타났으며, 대전시 총배출량에 대해 0.14%를 차지한다.

대전시에서 온실가스저감방안에 의한 하천별 CO₂ 저감량은 다음의 <표 5-2>에 나타난 바와 같으며 갑천에서 전체의 68.1%, 유등천에서 16.3% 그리고 대전천에서 14.2%를 차지하고 있다.

<표 5-2> 수생태계에서의 CO₂ 흡수 및 저감유도량

하천명	합계	식물 플랑크톤	수생식물 (하천)	수생식물 (고수부지)	에너지저감 (온도저감)
합 계	31,090	14,630	1,731	2,887	11,842
갑 천	21,171	9,999	1,183	1,895	8,094
유등천	5,071	2,353	278	536	1,904
대전천	4,424	2,089	247	397	1,691
주원천	248	109	27	24	88
용호천	167	68	17	27	55
신동천	33	12	3	8	10

2. 증발산에 의한 기온저감 효과

지난 10년간 대전시 전체 일사량과 평균기온, 증발산열량의 7월 자료를 토대로 대전시의 하천에서 발생하는 증발산 작용을 통해 한여름의 저감 가능한 온도를 산정하였다. 그 결과, 대전시 하천에서 흡수한 증발산 열량만큼 태양복사에너지가 감소하였을 때 변화되는 온도는 여름철 일 최대 약 0.7 °C로 도시의 열섬현상을 감소시킬 수 있다. 또한 증발산에 의해 흡수된 0.7 °C의 냉방을 억제함에 따라 한 가정에서 연간 약 279 kWh의 전기가 절감되고, CO₂는 약 118.3 kgCO₂/yr/가구를 감소하게 된다. 에어컨이 설치된 10만 가구에서 에어컨 사용을 절약한다면 대전시의 CO₂ 배출 억제량은 11,842 tCO₂/yr이 된다.

3. 하천주변 기온저감효과 및 범위의 추정

하천 저수로의 폭이 넓을수록, 하천의 면적이 넓을수록 기온 저감효과가 있었는데, 갑천 하류지역에서는 평균하폭이 127 m로 4.05 °C의 기온저감효과가 하천 주변 415 m까지 영향을 줄 수 있는 것으로 나타났다. 또한 갑천 상류인 벌곡천에서도 0.61 °C, 유등천 하류 1.91 °C, 대전천 하류 1.76 °C, 유성천 0.92 °C 그리고 탄동천은 0.53 °C의 기온 저감효과를 나타냈다.

제2절 정책제언

1) 대전시 수생태계에 의한 탄소흡수 가능량 제시

하천에서는 플랑크톤과 같은 미생물의 광합성에 의한 탄소흡수 효과를 기대할 수 있으며, 하상 및 고수부지에 조성하는 식물상에 의한 탄소흡수 효과도 얻을 수 있다고 판단된다. 이에 생태하천을 조성하는데 있어 갈대밭 등의 조성은 조류, 포유류 등의 생활공간의 제공과 동시에 온실가스를 흡수하는 매개체로써 이용할 수 있다. 또한 갈대는 겨울철 사멸에 의한 탄소배출이 있을 수 있으므로, 생태계와의 영향을 고려하여 일정량을 추수하여 재생에너지 사용 등의 자원재순환에 이용할 필요가 있다.

2) 수생태계에 의한 기후변화 적응 및 열섬효과 저감효과 분석

대전시는 도심 곳곳에 펼쳐져 있는 하천으로 인하여 열섬효과를 줄일 수 있는 인프라를 가지고 있다. 이러한 하천은 수표면적에 따라 0.33~4.05 °C의 온도저감 효과가 기대되며, 온도 저감범위도 하천으로부터 128~415 m까지 달하는 것으로 산정되었다. 여름철 쾌적한 생활공간 조성을 위하여 하천의 유지유량 증대가 필요하다고 판단된다.

(1) 제목

- 대전시 수생태계가 주변 열섬효과 저감에 미치는 영향

(2) 목적

- 대전시를 비롯한 세계 각국은 온실가스 배출 증대로 인한 온도증가의 우려를 가지고 있음
- 대전시는 갑천, 유등천, 대전천을 비롯한 하천들이 생활공간 주변에 위치하는 매우 좋은 환경을 가지고 있음

- 이에, 대전의 하천이 주변 도심지역의 온도변화에 주는 영향을 직접 조사할 필요가 있음

(3) 기대효과

- 하천의 폭 및 수표면적에 따른 주변 도심의 온도저감 지도 작성
- 대전시 도심의 열섬효과 감소를 위한 하천조성계획의 기초자료로 이용

(4) 필요재원

- 약 150백만원

(5) 과업기간

- 2010년 3월 ~ 2010년 12월 (10개월, 하절기가 반드시 포함되는 범위에서 과업기간 변동 가능)

3) 하천관리방안 제시

하천이 도심온도에 미치는 영향은 구축자료가 부족하여 그 효과를 정확하게 정량화하기에 어려움이 있다. 이에 대전시 각 하천에 대한 수표면적의 변화, 증발산량, 하천으로부터 거리에 따른 온도변화 데이터베이스화 등과 같은 모니터링을 지속하여 생태하천조성 및 시민 이용방안에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

IPCC(2001), Climate Change

환경부(2009), 저탄소 녹색성장 정책 방향

정환도(2004), 온실가스 저감을 위한 대전광역시 대응방향, 대전발전연구원

정환도(2006), 지역온실가스 저감을 위한 시민실천방안 연구, 대전발전연구원

정환도(2007), 기후변화협약과 대전시 자동차부문의 기초연구, 대전발전연구원

정환도(2008), 기후변화협약과 대전시 전력부문의 기초연구, 대전발전연구원

환경부(2001), 리우선언문과 의제 21

한국과학기술기획평가원(2008), 2007년도 기후변화대응기술 기술영향평가 보고서

정성춘(2007), 발리로드맵의 주요 내용과 향후 전망, 대외경제정책연구원

이산화탄소저감 및 처리기술개발사업단, 더워지는 지구, 그 원인과 대책

환경부(2008), 국가 기후변화 대응 종합계획

환경부(2003), 기후변화대응 환경부문 종합계획

환경부(2001), 온실가스 배출저감 목표설정 및 배출권 거래제도 활용방안

기상청(2007), 온실가스 측정 표준 분석기법 개발 및 온실가스 측정시스템 개선

과학기술부(2001), 온실가스저감 기술개발 : 온실가스저감기술 선진화 연구

국립환경과학원(2008), 기후변화 민감생태계 평가기법 연구

환경부(2007), 국가장기생태연구

한국환경정책·평가연구원(2002), 기후변화에 따른 생태계 영향 평가 및 대응방안 연구 III :
삼림부문을 중심으로

해양수산부(2006), 해조류를 이용한 온실가스 저감연구사업 타당성 연구

NEDO(2007), 규조류가 해양 이산화탄소 흡수량을 조절하는 메카니즘

이상섭, 이시진, 유호식(1996), 광합성 미생물을 이용한 이산화탄소 제거에 관한 연구, 대한
환경공학회지, 8(2), pp. 149-157

전선미, 김인혜, 하종명, 이재화(2008), 미세조류를 이용한 이산화탄소 고정화 기술 현황, 한
국공업화학회지, 19(2), pp. 145-150

IPCC(2008), 4차보고서

국립기상연구소(2007), 홈페이지 자료

국무총리실 기후변화대책기획단(2008), 기후변화대응 종합기본계획

기후변화협약대책위원회(2005), 기후변화협약 대응 : 제3차 종합대책

정환도(2008), 「녹색도시 대전」 프로젝트 구체화 방안, 대전발전연구원

- 이경학(2007), Post-2012체제에 대비한 탄소흡수원 확충대책
- 김규한(2004), 행성지구학, 시그마프레스
- 이근영(2007), 동해는 ‘온실가스 삼키는 하마’ (한계레신문 2월 12일자 제2면)
- 에너지관리공단(2006), 에너지열량 환산기준 적용 매뉴얼
- 환경부(2006), 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인(제4권: 농업, 산림 및 기타토지이용)
- 국토해양부(2007), 한국하천열람
- 대전시, 2000~2009 대전통계연보
- Eagleman, J. R.(1967), *Pan evaporation, potential and actual evapotranspiration*, J. Appli. Meteor., 6, pp. 482-488
- 이산화탄소 흡수원으로서의 해조류 활용을 위한 세미나(2007. 2. 27), 국회의원회관
- 대전시(2003), 도심생태하천조성 학술연구 종합보고서
- 환경부(2005), 2005 전국내륙습지 자연환경조사(충북심천, 충북웅천)
- 최명재(2008), 팔당호 인공수초재배섬 수생식물의 생장 특성 및 영양염류 제거에 관한 연구, 서울시립대학교 도시과학대학원 석사학위논문
- 한강수계관리위원회(2007), 수중생태계 물질순환 및 에너지 흐름조사 최종보고서
- 최명재, 변명섭, 박혜경, 전남희, 윤석환, 공동수(2007), 팔당호 인공 수초재배섬에서 수생식물의 생장 및 영양염류 제거 효율, 한국물환경학회지, 23(3), pp. 474-483
- 지광재(2006), 수처리 인공습지의 수생식물 이용, 농어촌과 환경, 93, pp. 91-104
- 기상연구소(1998), 우리나라의 증발산량 분포 특성
- 한국환경정책·평가연구원(2004), 기후변화영향평가모형 개발
- 윤용남(2008), 기초수문학, 청문각
- 이혜선(2001), 인공위성 영상자료를 이용한 녹지의 도시온도 저감효과에 관한 연구, 서울시립대학교 석사학위논문
- 권영상(2004), Landsat ETM+ 영상자료를 이용한 하천의 도시기온 저감효과 측정에 관한 연구, 서울대학교석사학위논문

기본연구보고서 2009-08

수생태계가 온실가스의 발생 및 배출량에 미치는 기초연구

발행인 유 병 로

발행일 2009년 11월

발행처 대전발전연구원

302-846 대전광역시 서구 월평본1길 39(월평동160-20)

전화: 042-530-3518 팩스: 042-530-3575

홈페이지 : <http://www.djdi.re.kr>

인쇄 : 제일문화사 TEL 042-672-5193 FAX 042-632-0606

이 보고서의 내용은 연구책임자의 견해로서 대전광역시의 정책적 입장과는 다를 수 있습니다.
출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 무단 전재나 복제는 금합니다.