

# 확률강우량을 이용한 AMC 조건에 따른 비점원 오염량의 변화

## Variation of Non-Point Source Pollution according to AMC Condition Using Probable Rainfall

안 승 섭\* · 최 윤 영\*\*  
Ahn, Seung Seop · Choi, Yun Young

### Abstract

AGNPS model is applied in this study to analyze the changes of non-point source pollutant according to AMC condition using probable rainfall. Probable rainfall of H-dam area by Gumbel's extreme value distribution is computed through frequency analysis for each return period. 35 coarse grids are subdivided into 134 fine grids of finite differential network to analyze peak flow, soil loss quantity, and nutrients of study area, and the modified CN estimation equation shows good result about rainfall events-peak flow relationship. And as the consequence of estimation of soil loss quantity for each rainfall event, soil loss quantity shows 120%~170% of actual soil loss quantity. Regression analysis for the observed and calculated values of flow, T-P, and T-N according to actual rainfall in H-dam area shows relatively good result like equations (10)~(12), and actual T-P and T-N have the tendency that it decreases generally as the probable flood increases, but decreasing range of T-N is much greater than T-P. AMC has an important effect on nutrients concentration of outflow, and it is found that the excessive fertilization under AMC III condition may cause eutrophication by nutrients because the range of increase of outflow concentration appears relatively high.

### I. 서 론

유역에서 강우로 인한 유출과정 중에 오염물질은 크게 생활오수나 공장폐수와 같은 발생원이 확실한 점원오염과 농경지의 경작을 위해 살포된 유기물, 비료 등과 강수로 기인된 지표유출이나 관개 배수시에 따른 잉여수와 함께 배출되는 발생원

이 불분명한 비점원오염으로 나눌 수 있다. 여기서, 비점원오염은 점원오염과 달리 하수처리장을 이용한 처리가 매우 어려울 뿐만 아니라 비경제적이므로 오염원 또는 인접지역에서의 오염발생을 억제하거나 효율적인 관리를 통해 오염물의 유출을 억제하는 것이 경제적인 것이다. 따라서 비점원오염의 장기적인 관측과 적절한 수치해석을 통

\*경일대학교 공과대학  
\*\*경북도립대학

키워드 : AMC조건, 비점원 오염량, AGNPS모델  
확률강우량

하여 오염의 추정과 그 대책을 지속적으로 행하여야 할 것이다.

비점원오염에 관한 국외의 연구로써 Hession (1988)<sup>1)</sup>은 Virginia주에서 농업 비점원오염을 위해 GIS를 이용하였고 He(1993)<sup>2)</sup>는 미시간주 Saginaw유역에서 농업 비점원오염 억제를 위하여 12개 BMP에 대하여 AGNPS<sup>9)</sup>모델을 통한 모의 발생을 실시하여 등고선재배 및 보전농법 등에 관한 연구를 하였으며, Luzio(1989)<sup>3)</sup>는 GIS를 이용한 AGNPS모델의 적용성에 있어 적정 강우량의 중요성에 관한 연구를 실시하였다.

그리고 국내에 대한 연구로서 서승덕(1983)<sup>4)</sup>은 농업용수의 수질환경 및 오염원에 관한 조사분석에 관한 연구를 하였으며 임봉수는(1984)<sup>5)</sup>는 도시와 농촌에서의 비점원오염물 배출양상에 관한 연구를 하였고 이명우(1990)<sup>6)</sup>은 토지이용을 고려한 소유역의 수질예측 모델에 관한 연구를 실시하였다. 또한, 장정렬(1994)<sup>7)</sup>은 농업유역 수질관리 모델의 개발에 관한 연구를 하였고 김진택(1995)<sup>8)</sup>은 농업 비점원 오염모델을 위한 지리정보시스템 호환모델의 개발 및 적용에 관한 연구를 하였으나 유역으로 유입되는 비점원오염물을 선행강우사상에 따른 토양의 함수능과 연계한 연구자료는 미미한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 농업유역에서 AMC 조건에 따른 비점원 오염량의 변화를 효과적으로 분석하기 위하여 실제 호우사상에 있어 관측치와 비점원 오염모델의 분석 결과치에 대한 비교를 통하여 최종 매개변수를 결정하고 각 확률강우량에 대한 AMC 조건하에서의 비점원오염물의 변화를 예측함으로써 향후 하천의 수질오염 방지를 위한 자료를 제안하는데 그 목적이 있다.

## II. AGNPS 모델의 기본이론

미국 미네소다 주에서 농업유역의 비점오염을 추정하기 위한 목적으로 농업비점오염모델 AGNPS (agricultural nonpoint source pollution model)을 개발하였으며 기본 이론은 다음과 같다.

### 1. 모델의 이론

AGNPS 모델은 호우사상에 대한 유출과 침투 유량, 토양유실, 총질소, 총인, 화학적 산소요구량 (Chemical Oxygen Demand, COD) 등을 추정할 수 있도록 개발되었다. AGNPS 모델은 유역을 정방형 격자(cell)로 구분하고, 각 격자에 대한 지형, 토양, 토지이용, 식생, 비료 시비량과 유효량, COD 및 축산 또는 이외의 점원 오염량 등을 입력변수로 사용한다. 따라서 이러한 입력변수를 이용하여 각 격자에 대한 침투유출량 및 토양유실량을 계산하고 T-N 및 T-P의 이동을 추정하여 비점오염량을 계산할 수 있는 분포형 매개변수 모델이다. 모델의 기본 알고리즘은 유출, 유사 및 수질부문을 등으로 구성되어 있으며 계산과정은 다음의 Fig. 1<sup>10)</sup>과 같다.

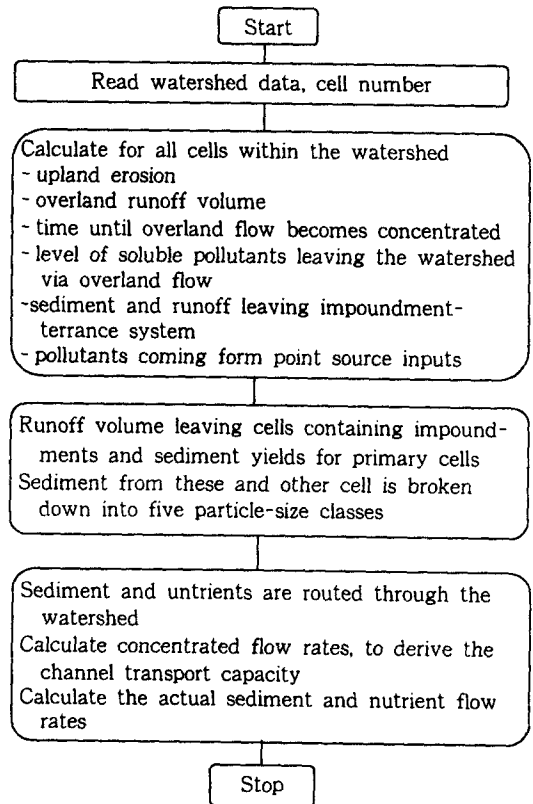


Fig. 1. Flow chart of AGNPS model

2. 총유출량

AGNPS 모델에서 유출량은 SCS 법에 의해 추정되며 다음의 식 (1)과 같다.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \dots\dots\dots(1)$$

여기서, Q는 직접 유출량(mm), P는 강우량(mm), S는 최대 잠재보유수량(mm)이다. 그리고 식 (1)에서의 잠재보유수량은 다음 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \dots\dots\dots(2)$$

한편, CN은 유출곡선지수로서 유역의 토지이용, 토양종류, 수문학적 토양조건 등에 영향을 받는 값으로써 0~100의 범위내에서 산정된다.

3. 침투유량

강우사상에서의 침투유량은 Smith와 Williams<sup>11)</sup>의 경험식을 사용하여 추정하며 식 (3)과 같다.

$$Q_p = 3.79 \cdot A^{0.7} \cdot CS^{0.159} \cdot \left(\frac{Q}{25.4}\right)^{0.824A^{0.0166}} \cdot LW^{-0.187} \dots\dots\dots(3)$$

여기서, Q<sub>p</sub>는 침투유량(m<sup>3</sup>/s), A는 유역면적(km<sup>2</sup>), CS는 하천경사(m/km), Q는 유출량(mm), LW는 유로연장의 제곱근에 대한 면적비(L<sup>2</sup>/A)이고 L의 단위는 km이다.

4. 토양유실량

호우사상에 대한 경사지의 토양유실량 추정은 수정 USLE(Modified Universal Soil Loss Equation)공식으로 구하며 다음 식 (4)와 같다.

$$SL = IE \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \cdot F \dots\dots\dots(4)$$

여기서, SL은 토양유실량(ton), IE는 강우에너지계수(m-Mg/ha-cm), K는 토양침식계수, LS는 경사계수, C는 작물피복계수, P는 토양보전계수, F는 경사 보정인자이다. 이 때 토양침식계수 K는 다음의 식 (5)와 같다.

$$K = \frac{2.1 \times 10^{-4} \cdot (12 - OM) \cdot M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3)}{100} \dots\dots\dots(5)$$

여기서, K의 단위는 (ton · acre · hr/100 · acre · ft · tonsf · in)이며 OM은 유기물질함유 백분율, P는 투수지수, S는 토양의 구조지수이고 M은 다음의 식 (6)으로 구할 수 있다.

$$M = (\%MS + \%VFS)(100 - \%CL) \dots\dots(6)$$

이 때 %CL은 0.002mm 이하의 점토 백분율이며, %MS는 실트 백분율 및 %VFS 극세사함량 백분율을 나타낸다.

5. 영양물질(T-N, T-P)

AGNPS는 유역의 질소(N), 인(P) 및 화학적 산소 요구량(COD)을 추정할 수 있다. 총질소량(T-N) 및 총인량(T-P)은 각각 유출량내의 용존 상태 질소(DON)와 인(DOP)의 양과 유사에 부착된 질소(SON) 및 인(SOP)의 양을 합하여 구하며 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$TN = DON + SON \dots\dots\dots(7)$$

$$TP = DOP + SOP \dots\dots\dots(8)$$

### III. 적용 및 분석

#### 1. 분석대상구역

##### 가. 지형 및 지질

본 분석대상구역인 회야댐 유역의 위치는 동경 129° 17' 04" ~ 129° 06' 20", 북위 35° 30' 42" ~ 35° 21' 02" 이다. 유역면적은 127.0km<sup>2</sup>이고 유로 연장은 28.6km로서 유역의 형상은 동서쪽이 좁은 반면에 남북방향으로 길게 이어지는 장방향의 유역으로 유역의 평균폭은 4.44km이다.

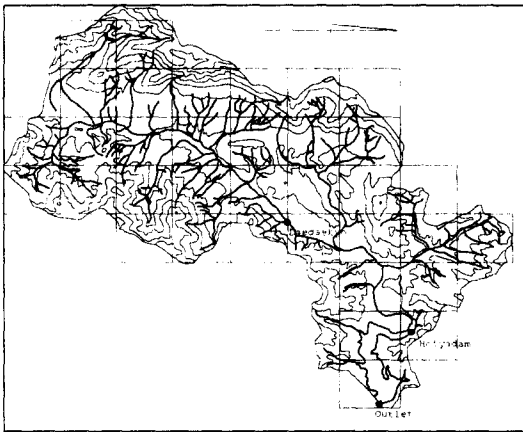


Fig. 2. Study area

그리고 하상물질의 평균입경은 0.083mm~0.481mm로써 자갈 1.4%, 모래 56.1% 및 불용토 42.5%로 분포되어 있다. 유역의 평균하상 구배는 0.005~0.023으로써 중하류부는 대체적으로 완만한 편이나 상류부는 급한 경사를 이루고 있으며 현재의 하천폭은 37.0m~115.0m 정도의 하도를 형성하고 있다. 지질분포는 상류부 좌측 분수령으로부터 원효산맥에는 백악기의 경상계 불국사 계통의 중성 화산암류가 분포되어 있고 천성산맥에 이르러 상동계통의 반암류와 중성 화산암류가 병행하여 발달되어 있으며 남암산맥에 이르는 분수령에서는 중성 화산암류가 넓게 분포되어 있다. 이상의 지형 및 지질을 고려하여 구분한 유역의 격자

구성과 격자별 지형특성 조사치는 Table 1 및 Fig. 2~3에 나타난 바와 같다.

##### 나. 기상특성 및 확률강우량

확률강우량에 따른 AMC 조건별 비점원 오염변화를 분석하기 위해서는 장기간의 강우관측자료가 필요하다. 본 연구에서는 장기간의 우량관측 자료가 있는 회야강 상류 지점인 명곡 우량관측소의 1918~1996년까지의 자료를 이용하였다. 다음의 Table 2는 관측 자료중에서 1966~1996까지의 31개년에 대한 월별 일 최대강우량 자료를 나타내었다.

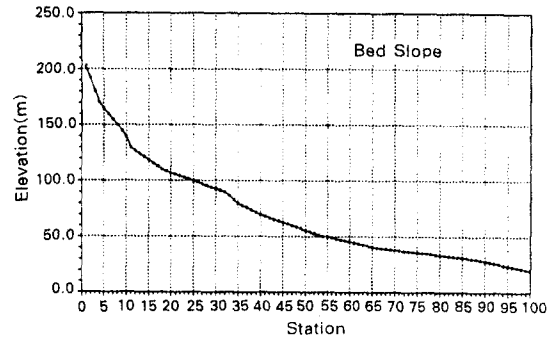


Fig. 3 Land-slope characteristic of the study area

연구대상구역의 확률강우량 분석을 위하여 79년간의 일 최대강우량 자료를 토대로 정규분포(NORM), Gumbel-Chow 극치분포(GECH), Iwai 분포(IWAI), 2변수 대수정규분포(LN2P), 3변수 대수정규분포(LN3P), Gumbel 극치분포(GEV1), Pearson Type-III 분포(3변수 Gamma 분포, GA3P) 및 Log-Pearson Type-III 분포(LP3P) 등을 검토하였다. 또한, 적정 확률분포형의 채택을 위한 적합도검정(Goodness of fit test) 방법으로는 K-S 검정(Kolmonogorov-Smirnov test)를 이용하였다. 따라서, 각 방법별 분석결과는 Table 3과 같이 검토되었고, 유의수준 5%로 적합도를 검정한 결과 검토에 사용된 8개 방법 중에서 정규분포(NORM) 및 3변수 Gamma 분포(GA3P)를 제외하곤 비교적 유사한 결과치로 나타났다. 하지만 본 연구에

Table 1. Geomorphological and landuse characteristics of the study area

CELL No.	Area (ha)	Length (m)	Slope	Forest (%)	Upland (%)	Paddy (%)	Farmsteads (%)	Etc.	AMC		
									I	II	III
1	988	2,625	0.1410	81	9	5	0	5	41	61	78
2	988	1,750	0.1829	95	1	4	0	0	37	57	75
3	988	2,525	0.0190	32	10	55	3	0	44	64	81
4	988	2,500	0.0840	44	25	20	11	0	44	64	81
5	988	1,275	0.1490	71	10	15	4	0	40	60	78
6	741	1,350	0.1059	74	9	12	5	0	39	59	77
7	741	925	0.7130	93	2	5	0	0	37	57	75
8	988	710	0.3520	94	1	5	0	0	37	57	75
9	741	2,375	0.0556	73	10	14	3	0	40	60	78
10	988	2,350	0.0119	61	18	16	5	0	42	62	79
11	988	2,225	0.0058	48	15	32	5	0	43	63	80
12	988	2,650	0.0087	32	26	35	7	0	46	66	82
13	988	1,650	0.0715	55	12	25	5	3	43	63	80
14	988	2,375	0.0716	40	9	41	2	8	46	66	82
15	988	2,875	0.1002	42	14	40	4	0	43	63	80
16	741	1,525	0.0820	90	2	8	0	0	37	57	75
17	988	2,500	0.1288	83	6	11	0	0	38	58	76
18	988	2,275	0.1389	91	2	5	0	2	38	58	76
19	988	1,125	0.0302	65	8	21	2	4	42	62	79
20	988	2,725	0.0055	43	15	36	6	0	43	63	80
21	988	2,125	0.0071	51	11	35	1	2	43	63	80
22	988	1,050	0.1124	64	7	23	3	3	41	61	78
23	247	1,875	0.1025	90	2	8	0	0	37	57	75
24	494	980	0.1452	94	1	5	0	0	37	57	75
25	988	2,500	0.1660	94	2	4	0	0	37	57	75
26	247	420	0.1325	58	8	31	3	0	41	61	78
27	988	850	0.0118	40	12	40	6	1	44	64	81
28	988	1,500	0.0033	38	20	35	6	1	45	65	82
29	988	1,875	0.0155	53	11	29	5	2	43	63	80
30	988	2,525	0.0594	70	10	18	1	1	41	61	78
31	988	2,000	0.0050	93	1	5	0	1	37	57	75
32	988	1,325	0.0838	47	11	36	5	1	43	63	80
33	988	2,250	0.0044	43	8	11	3	35	55	74	88
34	494	815	0.0085	48	17	30	2	3	44	64	81
35	741	2,530	0.0035	27	11	15	2	45	63	80	91

서는 "회야댐 저수지 부영양화 방지 및 수질개선 대책(1995. 12. 울산시)<sup>10)</sup>"에서 채택하였으며, 또한 안전측면과 K-S 검정(Kolmogorov-Smirnov test)결과를 토대로 Gumbel 극치분포(GEV1)에 의한 확률강우량을 채택하였다.

## 2. 실제 호우사상에 대한 적용

### 가. 첨두유출량

연구유역인 회야댐 유역에 대한 관측치와 AG-NPS 모델의 분석 결과치를 비교 분석하기 위해서 1993~1996년의 4년간 자료 중에서 4개의 호우사상을 선정하였다. 본 분석에 이용된 강우량, 5일 선행강우지수(API<sub>5</sub>) 및 AMC 등을 다음의 Table 4에 나타내었다. 여기서 실제 강우량이 각각 73.0mm~116.0mm일 때 5일 선행강우지수(API<sub>5</sub>)는 8.5~59.5mm를 나타내었고 관측된 첨두유출(Q<sub>peak</sub>)은 대대교 지점에서 118.0m<sup>3</sup>/s~162.8m<sup>3</sup>/s

확률강우량을 이용한 AMC 조건에 따른 비점원 오염량의 변화

Table 2. Daily maximum precipitation of myungkok station

Month Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Max.
1966	8.5	18.8	73.4	46.2	58.5	86.0	76.4	72.3	51.4	25.4	28.5	6.8	86.0
1967	25.9	11.8	23.2	38.9	35.2	93.1	84.1	50.7	28.6	3.3	34.6	10.0	93.1
1968	15.0	1.5	21.2	19.9	38.2	27.8	90.2	112.5	47.1	41.5	10.7	40.3	112.5
1969	150.0	45.7	15.7	55.0	34.4	48.5	84.9	115.9	243.8	11.4	33.0	31.4	243.8
1970	3.3	47.6	10.8	46.7	69.5	130.4	149.0	169.0	113.6	11.3	17.2	13.4	169.0
1971	51.4	12.7	41.6	27.2	42.4	51.4	35.6	138.1	25.1	10.4	2.0	6.3	138.1
1972	30.5	21.7	84.3	31.4	60.3	55.6	194.9	98.7	336.7	35.2	64.8	64.8	336.7
1973	31.5	12.8	3.2	45.2	101.7	40.6	74.2	43.5	169.4	70.1	20.4	6.3	169.4
1974	40.6	22.4	23.4	112.1	122.4	100.3	355.9	57.4	29.5	124.3	5.3	20.1	355.9
1975	40.0	35.7	30.8	82.4	53.7	26.2	87.6	27.0	39.0	38.0	60.4	20.7	87.6
1976	0.0	29.5	46.3	81.2	19.3	60.2	57.2	96.2	86.5	34.0	10.2	16.3	96.2
1977	1.2	0.0	27.4	42.0	49.3	37.9	8.5	40.1	153.2	15.2	27.6	18.4	153.2
1978	13.4	42.6	30.7	0.0	7.5	170.4	18.3	54.1	28.3	54.6	45.0	6.4	170.4
1979	37.5	21.7	19.0	70.0	89.0	75.0	7.5	185.0	75.0	15.0	0.7	30.0	185.0
1980	35.0	7.0	29.0	87.0	45.0	62.0	53.0	72.0	67.8	47.3	35.0	15.0	87.0
1981	12.3	0.5	20.5	26.5	3.5	40.3	67.3	58.0	170.2	11.0	12.3	0.3	170.2
1982	8.6	12.5	35.0	45.8	25.0	17.0	50.7	86.1	42.0	6.3	35.6	3.9	86.1
1983	12.0	27.0	34.0	39.7	24.0	58.8	106.0	111.0	122.0	56.7	0.0	8.4	122.0
1984	0.0	8.3	8.3	66.0	64.3	43.0	73.1	163.5	151.5	9.5	27.0	14.3	163.5
1985	0.0	28.2	26.7	63.0	89.6	165.0	85.7	134.0	56.5	145.5	35.5	8.3	165.0
1986	6.2	34.5	17.5	28.8	47.2	107.5	27.5	48.5	59.0	38.0	7.5	24.3	107.5
1987	21.5	14.5	16.2	40.0	21.0	87.5	127.6	251.0	16.0	34.5	36.0	0.0	251.0
1988	9.5	5.2	29.5	25.3	19.0	53.5	83.5	28.5	20.5	1.5	2.5	5.5	83.5
1989	28.7	25.1	69.2	26.5	32.0	61.5	151.2	79.0	50.0	7.5	79.5	58.3	151.2
1990	27.4	34.2	24.0	79.0	62.0	69.0	62.7	51.0	36.5	9.5	25.5	0.0	79.0
1991	10.5	13.6	18.2	124.0	25.0	85.0	100.8	541.0	91.5	1.0	5.0	52.3	541.0
1992	18.7	23.7	84.0	90.5	88.5	23.0	72.0	65.5	96.5	8.0	55.0	13.2	96.5
1993	12.4	46.5	17.0	23.0	58.0	106.0	112.5	272.0	24.0	50.0	26.0	9.2	272.0
1994	18.7	29.7	23.2	73.5	84.7	116.0	98.0	32.5	20.0	152.5	37.0	5.2	152.5
1995	9.6	11.1	43.4	30.5	39.5	71.0	73.0	28.5	27.0	26.0	5.5	0.0	73.0
1996	11.5	13.4	38.5	47.8	34.2	80.6	88.6	19.7	26.0	31.1	9.9	1.4	88.6

Table 3. Results of rainfall frequency analysis

Method Year	Probability Rainfall (mm)									K-S test
	5	10	20	30	50	80	100	150	200	
NORM	198.3	230.9	257.9	271.9	288.2	302.1	308.4	319.4	326.9	0.1568
LN2P	178.5	217.8	256.6	279.4	308.6	335.8	349.0	373.1	390.6	0.0815
LN3P	188.5	221.8	264.6	289.5	317.5	347.0	360.2	384.2	401.2	0.0855
IWAI	178.6	218.7	258.7	282.4	312.8	341.3	355.0	380.4	398.7	0.0845
GA3P	165.3	219.1	279.2	316.9	366.6	414.5	437.8	481.3	512.9	0.2506
LP3P	177.1	220.4	265.8	293.7	330.6	366.3	384.0	417.3	441.8	0.1580
GEV1	194.6	241.3	286.0	311.8	343.9	373.4	387.4	412.7	430.6	0.0790
GECH	189.3	232.6	274.3	298.2	328.1	355.5	368.5	392.0	408.7	0.1258

및 회야댐 지점에서 170.6m<sup>3</sup>/s~257.2m<sup>3</sup>/s를 각각 나타내었다. 다음의 Fig. 4는 AGNPS의 모의발생

을 위하여 구성된 격자망이다. 분석에서는 동질성을 고려한 35개의 조격자를 구성하고 하천의 수로

Table 4. Rainfall, API and  $Q_{peak}$  data of analysis basin

Storm event	Rainfall (mm)	API <sub>5</sub> (mm)	AMC	$Q_{peak}$ (m <sup>3</sup> /s)	
				Daedaekyo	Hoiyadam
6/ 29/ 93	106.0	9.0	I	151.4	226.4
6/ 18/ 94	116.0	8.5	I	162.8	257.2
7/ 23/ 95	73.0	59.5	III	132.3	189.3
7/ 19/ 96	88.6	11.3	I	118.0	170.6

Table 5. Comparison of observed and calculated values

Storm event	$Q_{peak}$ (m <sup>3</sup> /s)			
	Observed values		Calculated values	
	Daedaekyo	Hoiyadam	Daedaekyo	Hoiyadam
6/ 29/ 93	151.4	226.4	140.3 ( 7.33) <sup>*</sup>	192.2 (15.11) <sup>*</sup>
6/ 18/ 94	162.8	257.2	141.6 (13.02) <sup>*</sup>	218.3 (15.12) <sup>*</sup>
7/ 23/ 95	132.3	189.3	120.4 ( 8.99) <sup>*</sup>	157.5 (16.80) <sup>*</sup>
7/ 19/ 96	118.0	170.6	105.6 (10.50) <sup>*</sup>	155.4 ( 8.91) <sup>*</sup>

\* ( )<sup>\*</sup> : Relative error(%)

방향 및 경사형태를 세분화하기 위하여 134개의 세격자로 분할하였다. 그리고 유역 형상의 불규칙성을 고려하여 유출 및 수질에 고려되지 않는 15개의 세격자와 회야댐에 대한 5개의 저수지 세격자를 반영하였으며 격자에 수로방향을 도시하였다.

Fig. 5에는 각 격자에 대한 평균 토양침식계수(K)값 및 작물피복계수(C)값을 나타내었다. 한편 본 분석에서 AGNPS를 이용한 모의발생의 결과치 및 관측치와 식 (8)의 측정 유출곡선지수  $CN_m$ <sup>11)</sup>을 비교한 결과 차이를 보이고 있어 이를 보완하기

위한 수정 유출곡선지수  $CN_{mI}$  과  $CN_{mIII}$ 를 식 (9)로 구성하였다.<sup>12)</sup> 따라서, 식 (9)의 수정 유출곡선지수식의 계수 a의 결정은 a를 0.1~0.9까지 시행착오법을 거쳐  $CN_m$ 이 측정 유출곡선지수에 가장 근사한 0.65를 적용하였다. AGNPS모델이 모의한 침투유량( $Q_{peak}$ )은 Table 5에 나타난 바와 같이 대대교와 회야댐 관측소에서 105.6m<sup>3</sup>/s~141.6m<sup>3</sup>/s 및 155.4m<sup>3</sup>/s~218.3m<sup>3</sup>/s로서 실측치에 대한 추정치의 상대오차는 7.33~13.02% 및 8.91~16.80%로 검토되어 비교적 근사한 경향을 나타내

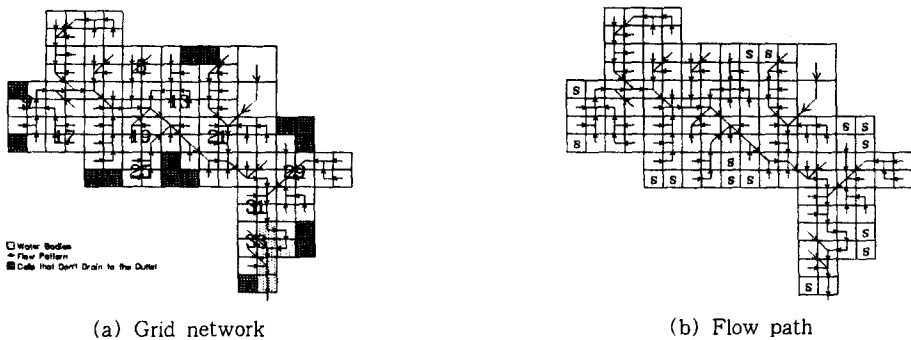
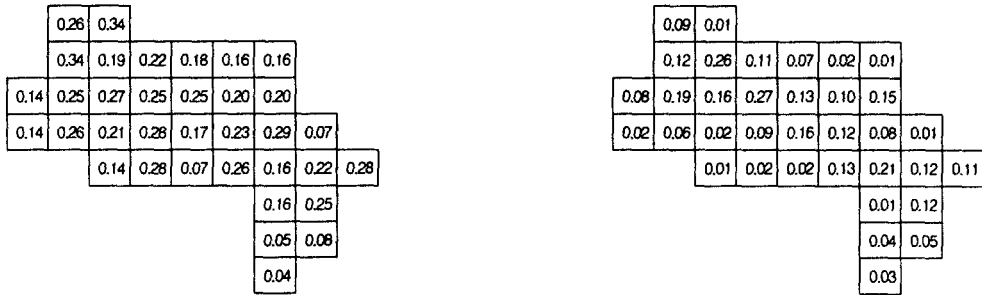


Fig. 4. Grid network of analysis basin

확률강우량을 이용한 AMC 조건에 따른 비점원 오염량의 변화



(K value)

(C values)

Fig. 5. K, C and P values of analysis basin

었다.

$$CN_m = \frac{25400}{254 + 5P + 10Q - 10(Q^2 + 1.25QP)^{0.5}} \dots\dots\dots(8)$$

$$CN_{mI} = a(CN_{scsI}) + (1 - a)(CN_{scsII})$$

$$CN_{mIII} = a(CN_{scsIII}) + (1 - a)(CN_{scsII}) \dots\dots\dots(9)$$

나. 토양유실량

H-dam 유역의 1993~1996년 자료 중에서 4개

의 일 호우사상에 대한 관측 및 모델에 의한 토양 유실량은 Table 6에 나타냈다. 관측 토양유실량은 대대교에서 각각 480.1~732.5ton/day 및 회야댐 관측소에서 696.4~1154.0 ton/day을 나타내었고 AGNPS에 의한 모의결과치는 대대교에서 603.8~1061.7ton/day 및 회야댐 관측소에서 847.6~1763.3ton/day로 분석되었다. 분석의 결과를 검토해볼 때 AGNPS 모델에 의한 추정치가 크게 나타났고 Fig. 6에서 보는 바와 같이 유량이 클수록 토양유실량이 관측치와 다소 큰 차이를 나타내었다.

Table 6. Comparison of observed and calculated values

Storm event	Sediment Yield, ton			
	Observed values		Calculated values	
	Daedaekyo	Hoiyadam	Daedaekyo	Hoiyadam
6/ 29/ 93	684.7	1,010.1	902.3(31.78)	1,353.2(33.97)
6/ 18/ 94	732.5	1,154.0	1,061.7(44.94)	1,763.3(52.80)
7/ 23/ 95	502.6	718.9	603.8(20.14)	847.6(17.90)
7/ 19/ 96	480.1	696.4	536.2(11.69)	952.4(36.76)

\* ( )\* : Relative Error(%)

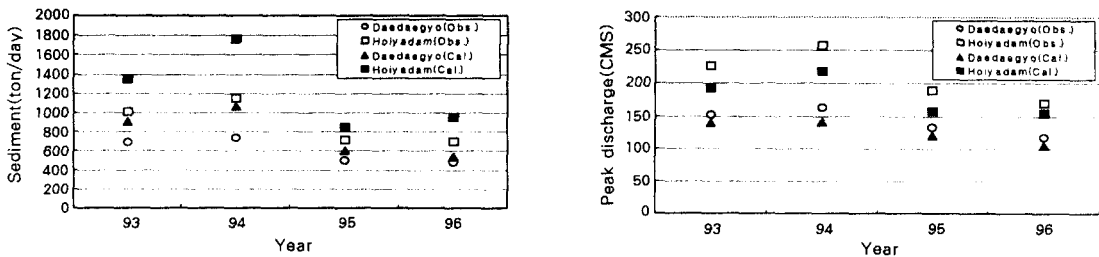


Fig. 6. Comparison of peak discharge and sediment



다. T-P 및 T-N

H-dam 유역의 선정된 4개 호우사상을 바탕으로 Table 7에 T-P 및 T-N의 관측치 및 계산치를 나타내었다. 분석대상유역의 수질은 대대교 및 회야댐 수문관측소에서 시료를 채취하여 분석하였

다. 관측치에 대한 수질분석 결과는 총인(T-P)의 경우 평균농도는 대대교와 회야댐에서 각각 0.029~0.069ppm 및 0.032~0.072ppm, 총질소(T-N)는 대대교와 회야댐에서 각각 0.35~2.39ppm 및 0.40~2.73ppm을 나타내었다.

Table 7. Comparison of observed and calculated values(T-P, T-N)

Storm event	T-P (ppm)				T-N (ppm)			
	Observed		Calculated		Observed		Calculated	
	Daedaeko	Hoiyadam	Daedaeko	Hoiyadam	Daedaeko	Hoiyadam	Daedaeko	Hoiyadam
6/ 29/ 93	0.029	0.032	0.055(89.66) <sup>*</sup>	0.060(87.50) <sup>*</sup>	0.62	0.68	0.89(43.55) <sup>*</sup>	0.90(32.35) <sup>*</sup>
6/ 18/ 94	0.041	0.048	0.056(36.59) <sup>*</sup>	0.060(25.00) <sup>*</sup>	0.35	0.40	0.89(154.29) <sup>*</sup>	0.90(125.00) <sup>*</sup>
7/ 23/ 95	0.069	0.072	0.110(59.42) <sup>*</sup>	0.130(80.56) <sup>*</sup>	1.23	1.40	1.20(2.44) <sup>*</sup>	1.30(7.14) <sup>*</sup>
7/ 19/ 96	0.049	0.057	0.070(42.86) <sup>*</sup>	0.080(40.35) <sup>*</sup>	2.39	2.73	2.53(5.86) <sup>*</sup>	2.55(6.59) <sup>*</sup>

\* ( )<sup>\*</sup> : Relative error(%)

한편, AGNPS모델을 이용한 수질분석에 의한 결과치를 살펴보면 총인(T-P)의 경우 평균농도가 대대교와 회야댐에서 각각 0.055~0.110ppm 및 0.060~0.130ppm로서 실측치에 대한 추정치의 상대오차는 36.59~89.66% 및 25.00~87.50%, 총질소(T-N)는 대대교와 회야댐에서 각각 0.89~1.20ppm 및 0.90~2.55ppm로서 실측치에 대한 추정치의 상대오차는 2.44~154.29% 및 6.59~125.00%로 검토되었다. 하지만 총질소의 경우 분석에 이용된 호우사상 중 유량이 가장 많았던 94년을 제외하면 계산치가 관측치에 대해 비교적 근사한 경향을 나타내었다.

Fig. 7은 대대교와 회야댐의 실제관측치와 AGNPS 모델의 결과 분석에 의한 계산치를 회귀분석한 결과를 나타내고 있다. AGNPS모델 계산유량과 실제유량간의 회귀분석식은 식(10)와 같으며, 결정계수는 0.986으로서 양호한 결과를 보이고 있다.

$$Q_c = 1.3571 Q_o^{0.9105} + 4.0599 \dots\dots\dots(10)$$

여기서 Qc는 계산유량이며 Qo는 실측유량이다.

다음의 Fig. 8~9는 회야댐유역의 선정된 4개 호우사상을 바탕으로 T-P 및 T-N의 관측치 및

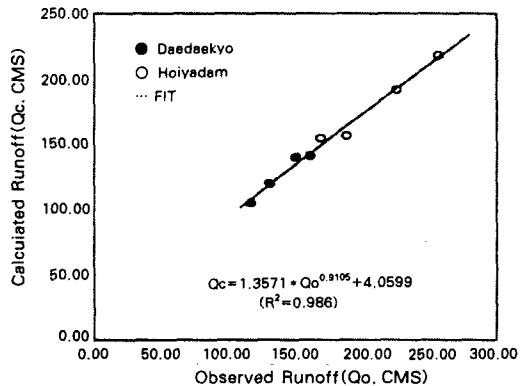


Fig. 7. The relationship between observed and calculated runoff at study area

계산치를 회귀분석한 결과를 나타내고 있다. 분석대상유역의 측정된 수질 관측치와 AGNPS 계산치에 대한 상관식은 총인(T-P)은 식(11)과 같으며, 총질소(T-N)는 식(12)와 같다. R<sup>2</sup>는 각각 0.983, 0.974를 나타냈으며, 총인(T-P)의 경우 3차식으로 분석되었고, 총질소(T-N)의 경우 2차식으로 나타났다.

$$TP_c = 709.08 TP_o^3 - 53.561 TP_o^2 + 0.0468 \dots\dots\dots(11)$$

$$TNc = 0.2257 TNo^2 + 0.09 TNo + 0.7834 \quad (12)$$

여기서, TPc는 계산된 총인이고 TPo는 실측한 총인이다. 그리고 TPc는 계산된 총질소, TPo는 실측한 총질소이다.

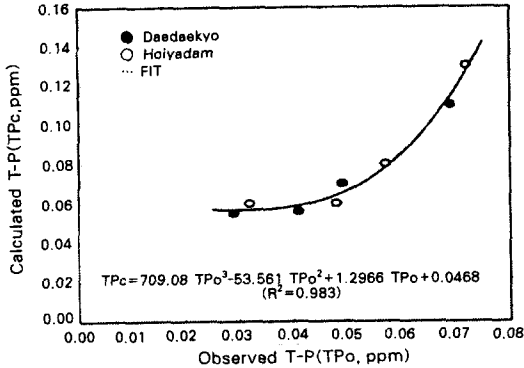


Fig. 8. The relationship between observed and calculated T-P at study area

어서의 비교는 다음의 Fig. 10과 같다. 침투유량 모의 계산치는 강우에 따라 다소 차이가 있으나 관측치와 계산치에 의한 상대오차가 7~16%의 범위내에 존재하여 계산치는 관측치와 비교적 잘 일치하였다. 이것은 유역의 동질성을 위해 격자망을 비교적 세분화한 것에 기인된 것으로 판단된다.

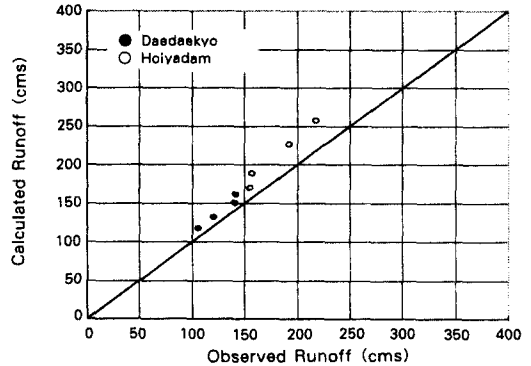


Fig. 10. Comparison between observed and calculated runoff

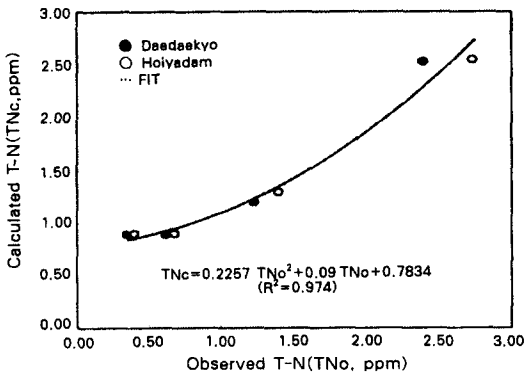


Fig. 9. The Relationship between observed and calculated T-N at study area

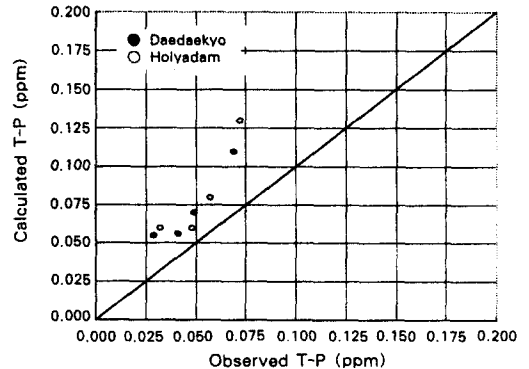


Fig. 11. Comparison between observed and calculated T-P

### 3. 확률강우량에 대한 적용

#### 가. AGNPS 모델의 검증

본 분석유역에서 매개변수 보정을 실시하여 AGNPS모델을 이용한 침투유량, 토양유실량 및 수질분석을 실시한 결과를 보면 다음과 같다.

침투유량의 경우에 대대교와 회야뎀 지점에 있

관측된 T-P의 농도변화는 하류부로 갈수록 다소 높게 나타났고 관측치와 계산치의 상대오차는 지점에 따라 25~90%였다(Fig. 11). 이는 토지이용에 따른 시비투여 및 생활오수 등의 차이에 기인한 것으로 사료된다.

관측된 T-N의 농도변화도 하류부로 갈수록 다소 높아지는 것으로 나타났으며 관측치와 계산치

에 의한 상대오차는 지점에 따라 2~154%였다 (Fig. 12). 그러나 94년 호우사상을 제외하면 T-P 보다 대부분 작은 오차를 보이고 있으며 침투유량에 대한 상관성도 매우 높은 것으로 나타났다. 그리고 확률강우량에 따른 T-P 및 T-N의 농도변화는 일정 이상의 호우가 발생할 때 T-P보다는 T-N이 민감하게 반응하는 것으로 분석되었으며 확률홍수량 증가에 따라 총인과 총질소가 비례하여 감소하는 것으로 나타났다.

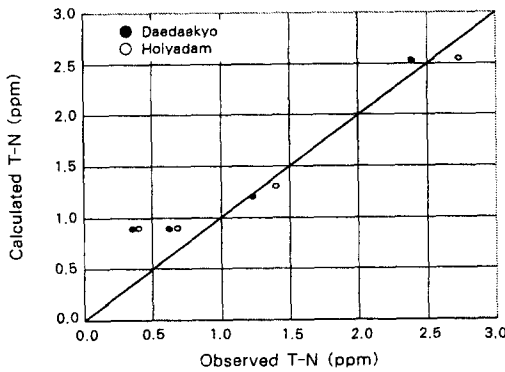


Fig. 12. Comparison between observed and calculated T-N

나. 확률홍수량

본 분석대상인 H-dam 유역의 확률강우량에 따른 침투유량을 AGNPS모델로써 분석하였으며 그 결과는 다음의 Table 8과 같다. 여기서 분석 유역인 회야댐 유역의 재현기간 10, 30, 50, 80, 100, 150 및 200년에 대하여 분석을 실시하였으며 그 결과를 보면 침투유량이 대대교에서 HEC1 및 AGNPS 모델의 경우에 290.7~514.3m<sup>3</sup>/s 및 265.6~491.7m<sup>3</sup>/s, 회야댐 관측소에서 HEC1 및 AGNPS모델의 경우에 459.9~815.9m<sup>3</sup>/s 및 394.2~733.9m<sup>3</sup>/s로 분석되었다. 따라서 두 모델의 상대오차가 대대교에서 4~9%, 회야교에서 10~14% 정도의 차이를 나타내고 있어 AGNPS 모델에 의한 확률홍수량은 충분한 신뢰성을 갖는 것으로 판단된다.

Table 8. Results of probability flood

Return period (Year)	Q <sub>peak</sub> (m <sup>3</sup> /s)			
	Daedaekyo		Hoiyadam	
	HEC1	AGNPS	HEC1	AGNPS
10	290.7	265.6	459.9	394.2
30	373.9	350.2	591.5	521.1
50	411.9	388.4	655.3	578.5
80	446.7	423.5	707.7	631.3
100	463.3	440.4	732.8	656.8
150	493.2	469.9	780.5	701.3
200	514.3	491.7	815.9	733.9

다. T-P 및 T-N

연구유역의 재현기간 10, 30, 50, 80, 100, 150 및 200년에 따른 AMC조건별에 대한 T-P 및 T-N의 변동을 분석하기 위하여 AMC I, II, III의 조건별로 시비투여를 하지 않을 경우(0: No Fertilization), 소량 투여할 경우(1: N: 5,500kg/km<sup>2</sup>, P: 2,200kg/km<sup>2</sup>), 평균적으로 투여할 경우(2: N: 11,000kg/km<sup>2</sup>, P: 4,400kg/km<sup>2</sup>) 및 다량으로 투여할 경우(3: N: 22,000kg/km<sup>2</sup>, P: 8,800kg/km<sup>2</sup>)로 초기조건을 분류하였으며 이에 대한 분석결과는 Table 9(a)~(b)와 같다. 여기서, 분석유역의 재현기간 10년에 대한 수질 분석결과는 T-P의 경우 대대교지점에서 AMC I, AMC II, AMC III 조건일 때 각각 0.05~0.12ppm, 0.05~1.26ppm 및 0.05~3.40ppm을 나타냈으며 회야댐지점에서는 각각 0.05~0.14ppm, 0.05~1.75ppm 및 0.05~4.87ppm을 나타냈다.

그리고 T-N의 경우에는 대대교지점에서 AMC I, AMC II, AMC III 조건일 때 각각 0.82~1.07ppm, 0.83~5.15ppm 및 0.84~12.46ppm을 나타냈으며 회야댐지점에서 각각 0.83~1.15ppm, 0.83~6.90ppm 및 0.84~17.43ppm을 나타냈다.

여기서, AMC I, II, III 조건 변화에 따라 T-P의 경우에 대대교지점이 약 3.0~25.0%, T-N의 경우에는 약 4.0~12.0%의 변동경향을 보였다. 따라서, 선행토양함수조건이 유출수의 영양물질 농도에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며 동일한 시비투여시에 AMC III 조건하에서 영양물질의 유출농도가 가장 높게 나타나 영양물질에 의한 부영양화

확률강우량을 이용한 AMC 조건에 따른 비점원 오염량의 변화

Table 9(a). Results of probability values by AMC condition(T-P)

R.P. (Year)	Con.	AMC I		AMC II		AMC III	
		Daedaekyo	Hoiyadam	Daedaekyo	Hoiyadam	Daedaekyo	Hoiyadam
10	1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	2	0.07	0.07	0.35	0.48	0.89	1.25
	3	0.09	0.09	0.66	0.91	1.73	2.46
	4	0.12	0.14	1.26	1.75	3.40	4.87
30	1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	2	0.07	0.08	0.28	0.38	0.62	0.88
	3	0.10	0.11	0.51	0.70	1.20	1.74
	4	0.15	0.18	0.97	1.36	2.41	3.43
50	1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	2	0.06	0.06	0.26	0.35	0.64	0.89
	3	0.08	0.08	0.48	0.65	1.17	1.71
	4	0.10	0.11	0.90	1.24	2.35	3.36
80	1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	2	0.06	0.06	0.25	0.33	0.59	0.82
	3	0.07	0.07	0.44	0.60	1.13	1.61
	4	0.10	0.11	0.83	1.15	2.22	3.16
100	1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	2	0.06	0.06	0.24	0.32	0.57	0.79
	3	0.07	0.07	0.43	0.58	1.09	1.55
	4	0.09	0.11	0.81	1.11	2.14	3.05
150	1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	2	0.06	0.06	0.23	0.30	0.54	0.75
	3	0.07	0.07	0.40	0.55	1.03	1.46
	4	0.09	0.10	0.76	1.04	2.01	2.87
200	1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	2	0.06	0.06	0.22	0.29	0.52	0.72
	3	0.07	0.07	0.39	0.53	0.99	1.40
	4	0.09	0.10	0.73	1.00	1.93	2.75

Table 9(b). Results of probability values by AMC condition(T-N)

R.P. (Year)	Con.	AMC I		AMC II		AMC III	
		Daedaekyo	Hoiyadam	Daedaekyo	Hoiyadam	Daedaekyo	Hoiyadam
10	1	0.82	0.83	0.83	0.83	0.84	0.84
	2	0.89	0.90	1.92	2.35	3.75	5.00
	3	0.94	0.99	2.99	3.86	6.66	9.14
	4	1.07	1.15	5.15	6.90	12.46	17.43
30	1	0.83	0.84	0.85	0.85	0.88	0.88
	2	0.94	0.98	1.78	2.16	3.10	4.07
	3	1.05	1.12	2.70	3.46	5.32	7.26
	4	1.27	1.41	4.56	6.08	9.77	13.64
50	1	0.82	0.83	0.83	0.83	0.84	0.84
	2	0.87	0.88	1.59	1.90	2.88	3.76
	3	0.91	0.94	2.35	2.96	4.93	6.67
	4	1.00	1.06	3.86	5.09	9.00	12.50
80	1	0.82	0.83	0.83	0.83	0.84	0.84
	2	0.87	0.88	1.53	1.81	2.72	3.53
	3	0.90	0.93	2.22	2.79	4.60	6.20
	4	0.98	1.04	3.62	4.75	8.34	11.56
100	1	0.82	0.83	0.83	0.83	0.84	0.84
	2	0.86	0.87	1.51	1.77	2.65	3.43
	3	0.90	0.93	2.17	2.72	4.46	6.01
	4	0.98	1.03	3.52	4.61	8.07	11.17
150	1	0.82	0.83	0.83	0.83	0.84	0.84
	2	0.86	0.87	1.47	1.72	5.24	3.27
	3	0.89	0.92	2.09	2.60	4.24	5.69
	4	0.97	1.02	3.36	4.38	7.63	10.55
200	1	0.82	0.83	0.83	0.83	0.85	0.85
	2	0.86	0.87	1.44	1.68	2.48	3.18
	3	0.89	0.92	2.04	2.53	4.11	5.50
	4	0.96	1.01	3.25	4.23	7.36	10.15

현상이 발생될 우려가 있는 것으로 사료된다.

#### IV. 결 론

본 연구에서 확률강우량을 이용한 AMC 조건에 따른 비점원 오염량의 변화특성을 분석하기 위하여 AGNPS 모델을 적용 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 재현기간별 확률강우량에 대한 빈도분석을 실시하여 Gumbel 극치분포에 의한 회야담유역의 확률강우량을 산정하였다.

2) 연구유역에 대한 침투유량, 토양유실량 및 영양물질 분석을 위해 35개의 조격자를 134개의 세격자로 유한차분망을 분할하였으며 호우사상과 침투유량의 관계는 수정된 CN 산정식을 이용하는 것이 양호한 결과를 나타내었다. 또한, 호우사상별 토양유실량을 추정한 결과 토양유실량이 실제 토양유실량의 120~170%의 값을 나타내었다.

3) 본 연구대상유역에서 실제강우량에 의한 유량, T-P 및 T-N의 관측치와 계산치를 회귀분석한 결과 식(10)~식(12)로 양호한 결과를 나타내었으며 확률강우량에 있어 T-P 및 T-N의 계산치는 전체적으로 확률홍수량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내고 있으나 T-P에 비하여 T-N의 감소폭이 훨씬 크게 나타났다.

4) 선행토양함수조건은 유출수의 영양물질 농도에 큰 영향을 미치고 있으며, AMCⅢ조건하에서 과다한 시비투여는 유출농도의 증가폭이 상대적으로 높게 나타나 영양물질에 의한 부영양화의 발생 우려가 큰 것으로 분석되었다.

#### 참 고 문 헌

1. Hession, W. C. and V. O. Shanholtz, 1988 : A Gis for Targeting Nonpoint-Source Agricultural Pollution, J. of Soil and Water Conservation, 43(3).
2. He, C., J. F. Riggs, and Y. T. Kang, 1993 : Intergration of Geographic Information System and a Computer Model to Evaluate the Impacts of Agricultural Runoff on Water Quality, AWRA Proceedings.
3. Luzio, M.D., Lenzi, M.A. 1995 : The Importance of Proper Rainfall Inputs for the Applicability of the AGNPS Model Integrated with Geographic Information System at Watershed Scale, In the Proceedings of the International Symposium on Water Quality Modeling, Orlando, FL, April 2-5.
4. 서승덕, 김태한, 윤경덕, 1983 : 농업용수의 수질환경 조사분석, 경북대 농학지, 제1권.
5. 임봉수, 1984 : 도시와 농촌에서의 비점원 오염물 배출양상에 관한 연구, 대한토목학회논문집, 4(2).
6. 이명우, 1990 : 토지이용을 고려한 소유역의 수질예측 모형에 관한 연구, 서울대학교대학원 박사학위논문.
7. 장정열, 1994 : 농촌유역 수질관리모형의 개발에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
8. 김진택, 1995. 농업 비점원 오염모형을 위한 지리자원정보시스템 호환모형의 개발 및 적용, 서울대학교 박사학위논문.
9. Young, R. A., C. A. Onstad, D. D. Bosch, and W. P. Anderson, 1987 : AGNPS, Agricultural Non-Point Source Pollution Model : A Watershed Analysis Tool, USDA Conservation Research Report 35.
10. 울산시 상수도관리사무소, 1995 : 회야담 저수지 부영양화 방지 및 수질개선대책.
11. 김중덕, 1990 : SCS법에 의한 소유역의 홍수 유출 추정, 서울대학교 석사학위논문.
12. 김진택, 박승우, 1997 : 농업비점원오염모형을 위한 GIS 호환모형의 개발 및 적용(Ⅱ), 한국농공학회지 제39권 제2호.