

수문분석을 통한 배수흐름 개선으로 태풍피해 최소화

홍 영 기

<쌍용양회 동해공장>

1. 서 론

1.1 검토배경

2002년 8월 31일 ~ 9월 1일 폭우를 동반한 태풍 「RUSA」 호 영향으로 공장 부지내 지하실을 포함한 저지대 침수와 사면붕괴에 따른 토사의 시설물내 유입으로 설비가동 중단 등 막대한 생산손실과 물적 손실이 발생 하였음.

따라서, 동해공장 지역의 수문 및 배수특성 분석을 시행, 태풍 「RUSA」 호로 인한 침수피해 발생 원인과 문제점을 도출하여 수해 재발방지와 수해방재 대책을 수립 시행하기 위함임.

1.2 수문분석 범위

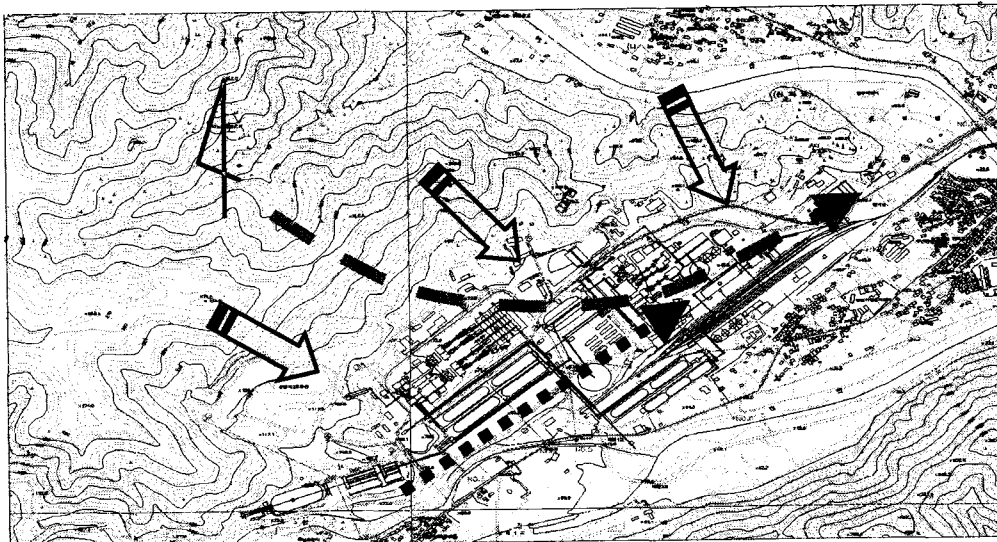
태풍 「RUSA」 호로 발생한 피해 상황을 고려하여 동해공장 Plant내의 기존 배수로의 우수 유입 경계선을 대상 범위로 결정함. 즉 배수로의 배수능력에 영향을 끼침으로서 생산활동에 지장을 초래 할 수 있는 배수유역임.

- 유역 면적 = 1,911,400㎡ (약 58만평)
- 배수로 규모 = 11 개소 총 연장 15 km
(분석대상 배수로 연장 약 5.7 km)

2. 동해공장 현황

2.1 동해공장의 지형적 특성

동해공장은 정면인 남동방향에는 지방 2급 하천인 전천이 있으며 공장 뒷편인 북서 방향에는



<그림 2-1> 동해공장 현황

해발 86.0 m ~ 340.5 m 높이의 산이 병풍처럼 싸고 있어 전체적인 부지경사는 서쪽에서 동쪽 방향으로 하향 경사를 이루고 있음.<그림 2-1>

또한 배수 특성은 총 배수면적 1,911,400㎡ 중 포장 또는 지붕이 있는 구조물 426,800㎡, 나지 666,500㎡, 산림지인 녹지 818,100㎡로 구성.

2.2 배수시설 현황

동해공장의 배출구는 총 11개소에 배수로 총 연장 약 15km로 생산 1팀 지역 약 8km(배출구 6개소), 생산 2팀 지역 약 7km(배출구 5개소)이며, 생산 1팀 Plant의 배수로 사용연수는 약 35년으로 주로 토관으로 시공 되었고, 생산 2팀 Plant 배수로 사용연수 약 25년인 철근콘크리트 Box 또는 원심력콘크리트관(흙관)으로 시공 되어 있음.

배수방향은 생산2팀 Plant의 배수는 하천으로 직접 유출되고 있으나 생산 1팀 Plant는 삼화시내를 관통하는 구거를 통해 전천으로 유출되고 있음.

3. 배수로 수문분석

3.1 수문분석 방법

일반적으로 배수로는 우수유출량 + 지하수량 + 하수량을 고려하여 규모를 결정함, 그러나 동해공장 부지내의 배수로는 호우시 생산설비의 침수방지를 위해 원활한 배수를 주 목적으로 설치되어 있으므로

- ① 유출량에 영향을 미치는 인자의 결정 및 확인
- ② 현 배수로의 배출능력 산정
- ③ 현 배수로가 감당할 수 있는 강우강도의 계산
- ④ 현재의 배수 시설에 대한 문제점 분석을 하는 순서로 분석을 시행함.

3.2 강우강도와 강우빈도

배수로에서는 유출이 비교적 단시간 내에 이루어 지기 때문에 전체의 강우량보다 집중호우에 의한 강우량 때문에 문제가 발생하는 것임. 따라서 배수계획에서는 이 강우량이 가장 중요한 인자로 단위시간당의 강우량, 즉 강우강도를 적용하고 있으며 보통 1시간에 몇 mm(mm/hr)로 표시된다.

또한 강우의 계속시간과 강우강도, 강우강도와 강우빈도는 일반적으로 다음과 같이 관련되는 특성이 있다

- ① 강우강도가 클수록(즉 호우일수록) 계속시간이 짧다
- ② 강우강도가 큰 강우일수록 빈도가 적다.

강우강도 환산식 $I = R \times (60 / t)$

I : 평균 강우강도 (mm/hr)

R : t분간의 강우량 (mm)

t : 계속시간 (min)

3.2.1 동해공장 인근지역의 강우강도 계산 및 적용 강우빈도

본 보고서의 강우강도 및 강우빈도의 계산은 동해시 시행 신흥천수해복구공사 실시설계 자료(2003.1)를 기준 하여 산출.

- 보고서 작성을 위한 Data 기준은 삼척 및 동해 관측소
- Data적용 기간 : 1973년~2002년(30년 기상 Data)

- ① 강우의 시간별 분포계산 기본식 (Sherman)

$$I = C / t^n$$

I : 강우강도 (mm/hr)

t : 강우지속시간 (min)

C, n : 대상지역에 따라 정해지는 계수

<표 3-1> 재현기간별 확률강우강도식

확률년	20년	30년	50년	80년	100년	200년
n 값	0.4798	0.4778	0.4778	0.4774	0.4772	0.4766
C 값	414.12	444.49	481.95	517.65	534.58	586.49

<표 3-2> 확률 강우강도식에 의한 지속기간 24시간 강우량 (mm)

확률년	20년	30년	50년	80년	100년	200년
강우량	303.36	327.84	358.05	385.92	399.12	439.68

<표 3-3> 지속시간별 I 값의 산정 (mm/hr)

구 분	20년	30년	50년	80년	100년	200년
1 시간	58.07	62.84	68.14	73.31	75.77	83.33
2 시간	41.64	45.13	48.93	52.65	54.43	59.89
3 시간	34.28	37.18	40.31	43.39	44.85	49.36
4 시간	29.86	32.40	35.13	37.82	39.10	43.04
5 시간	26.83	29.13	31.58	34.00	35.15	38.70
6 시간	24.58	26.70	28.95	31.16	32.22	35.48
8 시간	21.41	23.27	25.23	27.17	28.09	30.93
10 시간	19.24	20.92	22.68	24.42	25.25	27.81
12 시간	17.63	19.17	20.79	22.38	23.15	25.50
18 시간	14.51	15.79	17.13	18.45	19.07	21.02
24 시간	12.64	13.77	14.93	16.08	16.63	18.32

3.2.2 적용 강우강도의 빈도

강우의 빈도(또는 確率年)를 정하는 기본적인 방향은 계획 배수구역에서 우수 범람에 의한 피해의 정도 혹은 우수 범람에서 지켜야 할 인적, 경제적 크기정도에 의하여야 하며, 미국의 기준은 다음과 같다.

- ① 주거지역 내의 배수로 5~10년(보통 5년 적용)
- ② 상업지역 혹은 경제적 가치가 높은 지역 10~50년
- ③ 홍수 방지가 중심이 되는 간선 배수로 50년 이상

3.3 배수로 유출시간의 계산

우수 유출량을 좌우하는 것은 강우강도, 배수 면적, 지세지질 및 지표의 상태로서 이들의 인자에 의하여 유출량은 변한다. 따라서 유출량 산정에 있어서는 정확한 강우강도를 정하고 다시 지세, 지질, 지표 상태 등을 감안해서 적절한 유출계수를 정하고 유출량을 산출한다

3.3.1 배수로 유달시간의 계산

① 유달시간의 계산

$$T = t_l + (L / v)$$

T : 유달시간(분)

t_l : 유입시간(분)

v : 관거내 평균유속(m/분)

② 유입시간의 계산

$$t_l = [2/3 \times 3.28 \times L (n / S^{1/2})]^{0.467}$$

t_l : 유입시간(분) H : 배수구의 표고차

L : 배수구 최원지점 부터의 거리(m)

n : 조도계수와 흡사한 지체계수

S : 배수구의 지표경사 (H/L)

3.3.2 기준 강우강도 시간의 결정

전 항에서 식에 의한 각 배수로의 유달시간 계산 결과는 <표3-4>와 같다. 여기서는 각 배수로 위치 중 가장 큰 유달시간을 표기 하였고 이 시간이 각 배수로의 강우강도 기준시간 이다.

<표 3-4> 각 배수로별 유달시간 계산결과 (단위 : 분)

1번	2번	3번	4번	5번	6번	7번	8번	9번	10번
35.47	26.72	11.25	40.55	29.47	10.02	25.86	12.75	16.21	23.64

4. 배수능력의 검토

Manning 공식을 취하여 수리계산을 시행한 결과를 <표 4-1>로 나타내었다.

4.1 배수로의 수리계산

배수로의 배수는 일반적으로 자연 유하 방식을 취하기 때문에 수로의 수리학적 취급은 정류라고 가정해서 해석을 시행하였고 배수로의 유량계산에는 일반적으로 널리 사용되고 있는

① 유출량 (Q : m³/sec) = 통수단면적(A : m²) × 유속(V : m/sec)

② 유속의 계산(Manning 공식)

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

V : 유속(m/sec) R : 경심 (=A/P)

<표 4-1> 각 배수로별 유출능력 계산결과

배수로 구분	v(유속)		Q(유량)	계수의 계산						
	No.	유입		유출	m/sec	m ³ /sec	1/n	R ^{2/3}	I ^{1/2}	R값
1	②	①	6.1546	2.9255	55.56	0.28	0.4	0.15	0.1611	0.018
	①	하천	4.6997	3.7354	76.92	0.33	0.19	0.19	0.0348	0.013
2	④	②	6.1284	3.0887	55.56	0.40	0.28	0.25	0.0760	0.018
	③	②	12.2865	15.9233	76.92	0.54	0.29	0.40	0.0866	0.013
	②	①	9.9826	12.9375	76.92	0.54	0.24	0.40	0.0571	0.013
	①	하천	6.6671	2.6496	76.92	0.33	0.26	0.19	0.0700	0.013
3	①	하천	4.4203	1.7566	76.92	0.33	0.18	0.19	0.0308	0.013
4	④	③	6.6029	7.8442	76.92	0.54	0.16	0.40	0.0250	0.013
	③	②	6.3438	7.5365	76.92	0.54	0.15	0.40	0.0231	0.013
	②	②	1.6398	0.2361	55.56	0.19	0.15	0.08	0.0238	0.018
	①	하천	4.2595	1.6927	76.92	0.33	0.17	0.19	0.0286	0.013
5	⑦	③	3.7596	1.0151	55.56	0.36	0.19	0.21	0.0357	0.018
	⑥	③	9.6078	5.6205	55.56	0.49	0.35	0.34	0.1250	0.018
	⑤	④	3.5219	1.1094	76.92	0.32	0.14	0.18	0.0200	0.013
	④	②	8.1574	23.7869	76.92	0.71	0.15	0.60	0.0222	0.012
	③	②	4.9596	5.3564	76.92	0.50	0.13	0.35	0.0167	0.013
	②	①	14.7059	42.8825	76.92	0.71	0.27	0.60	0.0722	0.013
6	①	하천	15.7967	46.0632	76.92	0.71	0.29	0.60	0.0833	0.013
7	①	하천	3.2532	1.2929	76.92	0.33	0.13	0.19	0.0167	0.013
	④	②	1.4410	0.1945	76.92	0.26	0.07	0.14	0.0050	0.013
	③	②	6.5405	19.0720	76.92	0.71	0.12	0.60	0.0143	0.013
	②	①	7.7388	22.5663	76.92	0.71	0.14	0.60	0.0200	0.013
8	①	하천	1.8046	0.7171	76.92	0.33	0.07	0.19	0.0051	0.013
9	①	하천	3.7565	1.4929	76.92	0.33	0.15	0.19	0.0222	0.013
10	①	하천	4.1428	1.6464	76.92	0.33	0.16	0.19	0.0270	0.013
	④	②	4.6486	2.6776	76.92	0.41	0.15	0.27	0.0213	0.013
	③	②	4.0574	1.5337	55.56	0.33	0.22	0.19	0.0489	0.018
	②	①	2.9929	3.556	76.92	0.52	0.07	0.38	0.0056	0.013
10	①	하천	2.9522	3.5072	76.92	0.52	0.07	0.38	0.0054	0.013

<표 4-2> 유출계수 및 배수면적 산출표

구획	No. 1		No. 2				No. 3	No. 4				No. 5		
	①	②	①	②	③	④	①	①	②	③	④	①	③	④
m ²	2,890.5		3,445.5				257.5	977.5				5,644.5		
계	921.5	1,969.0	881.0	624.0	979.5	961.0	257.5	263.0	227.0	207.0	280.5	1,201.0	1,554.5	2,269.0
n값	0.46	0.80	0.19	0.14	0.55	0.26	0.10	0.20	0.20	0.20	0.02	0.12	0.45	0.78
C값	0.51	0.60	0.63	0.37	0.56	0.34	0.30	0.30	0.30	0.30	0.90	0.58	0.63	0.59

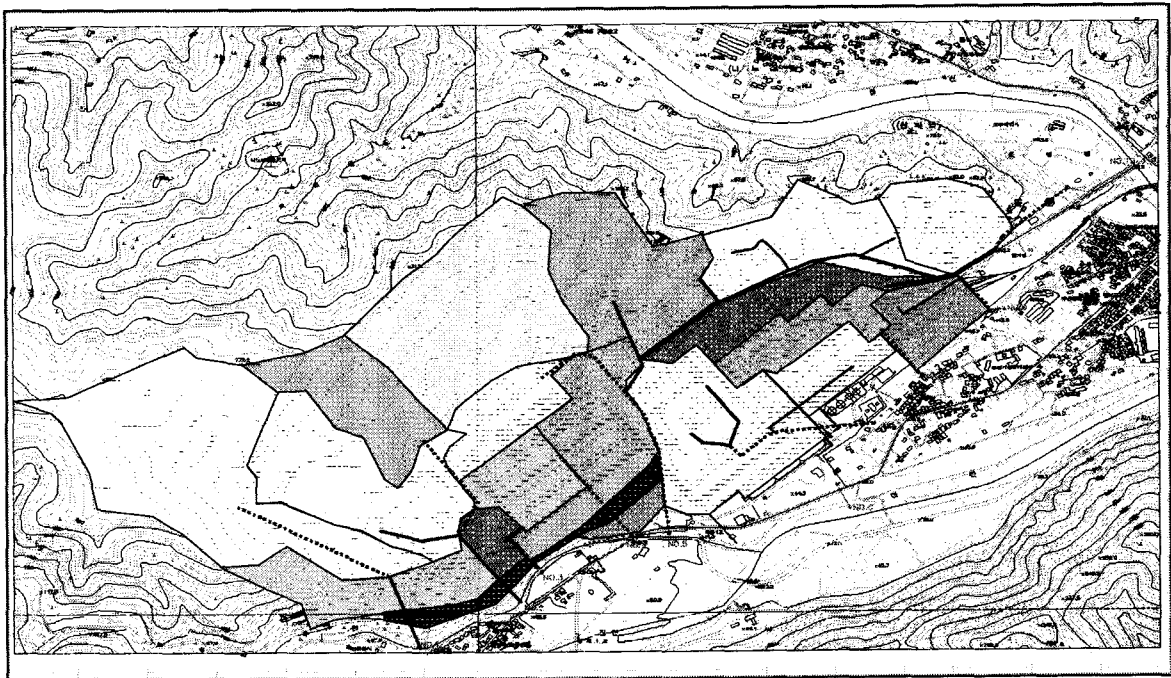
	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10			
	⑤	①	①	①	①	①	②	③	④
m ²		357.0	2,059.0	683.0	404.5	2,395.5			
계	620.0	357.0	2,059.0	683.0	404.5	627.5	670.0	477.5	620.5
n값	0.05	0.04	0.07	0.02	0.08	0.27	0.59	0.10	0.02
C값	0.66	0.72	0.50	0.90	0.48	0.44	0.61	0.30	0.90

I : 경사(분수 또는 소수) A : 유수 단면적(m²)
 n : 조도계수 P : 유수 윤변장(m)

수(1년간의 전강우량 대 전 유출량의 비)와는 다른 5분~1시간 정도의 극히 짧은 시간의 우수 유출량과 강수량의 비를 말한다. 유출계수는 지표의 경사 및 상태, 강우강도, 계속시간, 배수면적, 배수시설, 건물의 밀집, 포장상태 등에 따라 다르므로 각 배수구 면적비율에 따라 가중 평균하여 적용하였다.

4.2 유출계수 C 및 배수면적 A의 산정

배수로에서의 유출계수라 함은 하천의 유출계



<그림 4-1> 배수유역도

4.3 기존 배수로의 유효 강우강도 산정

본 보고서에서는 배수로의 단면이 이미 결정되어 있으므로 배수로 설계수준의 역순으로 계산한다. 즉 기존 배수로가 감당할 수 있는 강우강도를 산정하기 위하여 우수유출량 산정 기본식으로부터 아래와 같이 변형하여 계산 함으로서 유효 강우강도 i 를 산출하고 <표 4-3>에 나타내었다.

이론수치의 강우강도는 배수로 총단면의 90%가 유효한 것으로 가정하고 산정한 것이고, 유효 단면율을 감안한 강우강도는 실제의 배수로 상태를 감안(토사매물, 사용년수 경과에 의한 파손, 단면축소 등)하여 적용한다.

- 강우강도 i 를 산정하기 위한 변형식

$$i = Q \div \left(\frac{1}{360} C A \right)$$

4.4 지속시간에 대한 강우강도 I의 계산

배수로 유달시간<표 3-4 참조>을 강우지속시간으로 간주한 각 배수로의 강우강도 시간.

- 기본식(Sherman)

$$I = C / t^n$$

I : 강우강도(mm/hr)

t : 강우지속시간(min)

C, n : 대상지역에 따라 정해지는 계수

4.5 유효대 재현기간별 강우강도의 비교

현 배수로에 대한 배출능력을 검토하기 위해서는 배수로의 유효단면과 강우지속시간에 대한 재현기간별 강우강도를 비교하면 각 배수로에 대한 유출단면의 과,부족 현황을 확인할 수 있으므로 비교하여 <표4-3>로 나타내었다.

비교 분석결과 3,4,5,9번 배수로는 유출능력이 충분한 것으로 판단되나, 생산1팀 Plant 배수로의 배수능력은 전반적으로 많이 부족한 것으로 나타났고, 특히 7,8번 배수로는 취약지역인 1~3호 Kiln주위의 우수를 유출시키는 배수로로서 시간당 20~40 mm 정도의 강우에도 배수능력이 초과되는 매우 취약한 상태인 것으로 나타났다.

5 태풍 「RUSA」호 피해발생 원인 분석

5.1 배수로의 유입량 산정

<표 4-3> 유효대 재현기간별 강우강도 비교

배수로 No	유효강우강도 i (mm/hr)	지속시간 (hr)	재현기간별 강우강도 I (mm/hr)					
			20년	30년	50년	80년	100년	200년
1	45.3	0.59	74.73	80.17	87.56	94.23	97.38	107.04
2	43.7	0.45	85.62	91.79	100.26	107.88	111.48	122.52
3	409.3	0.19	129.68	138.79	151.59	163.06	168.47	185.05
4	145.5	0.68	70.08	75.20	82.14	88.39	91.35	100.42
5	388.2	0.50	81.32	87.20	95.25	102.49	105.92	116.41
6	144.8	0.17	137.03	146.62	160.15	172.26	177.97	195.47
7	20.2	0.43	86.97	93.23	101.83	109.57	113.23	124.44
8	43.7	0.21	122.09	130.70	142.76	153.57	158.67	174.30
9	153.3	0.27	108.82	116.55	127.30	136.95	141.51	155.47
10	45.7	0.39	90.80	97.32	106.30	114.38	118.19	129.88

해석하는 방법은 1번 배수로의 경우 지소(유달)시간이 0.59 시간으로 20년 빈도의 강우량을 감당하기 위해서는 시간당 74.73mm 강우량에 대한 배출능력을 확보해야 함.

우수가 배수로에 유입하기 까지는 주변의 상황(수목에 의한 차단, 증발, 침투, 저지대 저류, 지연유출 등)에 의하여 직접 유출되는 우수량은 강우량보다 적은량이 되며, 배수로 설계에 있어서 이와 같은 인자를 고려해서 최대 우수 유입량에 따라 배수로 필요단면을 결정한다.

따라서 우수유입량의 산정 방법은 <표 3-4>의 우수 유달시간에 해당하는 강우 계속시간과 대응하는 강우강도를 구하고, 그 강도의 비가 유달 시간내에 유집 할 수 있는 배수구역 전체에 균등하게 내린다는 가정과, 지체현상이 생기지 않는 최대한도의 경우에 최대 유출이 생기는 것으로 해서 우수 유입량을 계산하며 기본식은 다음과 같다.

$$Q = (1 / 360) C i A$$

Q : 우수유입량(m³/sec) C : 유출계수

i : 강우강도(mm/hr) A : 배수면적(ha)

5.2 「RUSA」 피해상황 분석

「RUSA」 호 영향에 의한 강우 Pattern을 보면 아래의 <표 5-1>과 같이 8월31일 낮 12시~오후9시에 집중 하였고 특히 17시~ 21시의 약5시간 동안 짧은 시간대에 「RUSA」 호로 인해 발생한 총 강우량648.2 mm의 약 47%에 해당하는 306.3mm의 집중호우가 피해 발생 원인을 알 수 있다. <표 5-1>은 RUSA 호의 시간대별 강우량을 적용하여 각 배수로 유입구별 유입량

<표 5-1> 「RUSA」 호의 강우량에 따른 배수구 유입량 분석

배수로 구분	유효단면을 반영					「RUSA」 호강우기준										
	유입 위치	유출 방향	I	Q	유효율	※시간별 각배수로 유입구의 유입량(m ³ /sec)										
						12시	13시	14시	15시	16시	17시	18시	19시	20시	21시	
1	②	①	45	1.5	50%	0.9	1.7	0.6	0.5	0.7	1.5	1.9	3.0	2.5	1.3	
	①	하천	45	1.9	50%	1.2	2.2	0.7	0.6	0.8	1.8	2.3	3.7	3.1	1.6	
2	④	②	444	2.8	90%	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	0.6	0.5	0.3	
	③	②	847	12.7	80%	0.4	0.8	0.3	0.2	0.3	0.7	0.9	1.4	1.1	0.6	
	②	①	56	1.3	10%	0.6	1.2	0.4	0.4	0.5	1.0	1.3	2.1	1.7	0.9	
	①	하천	40	2.4	90%	1.7	3.2	1.1	0.9	1.2	2.7	3.4	5.4	4.5	2.4	
3	①	하천	409	0.9	50%	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	
4	④	③	783	5.5	70%	0.2	0.4	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	0.6	0.5	0.3	
	③	②	1,299	5.3	70%	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	
	②	②	75	0.2	70%	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	
	①	하천	145	1.2	70%	0.2	0.4	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7	0.6	0.3	
5	⑤	④	78	0.9	80%	0.3	0.6	0.2	0.2	0.2	0.5	0.6	1.0	0.9	0.5	
	④	②	447	16.7	70%	1.0	2.0	0.7	0.6	0.7	1.6	2.1	3.4	2.8	1.5	
	③	②	139	3.7	70%	0.8	1.4	0.5	0.4	0.5	1.2	1.5	2.4	2.0	1.1	
	②	①	397	30.0	70%	2.1	4.0	1.4	1.2	1.5	3.4	4.3	6.8	5.7	3.0	
	①	하천	388	36.9	80%	2.7	5.0	1.7	1.4	1.9	4.2	5.4	8.5	7.1	3.8	
6	①	하천	145	1.0	80%	0.2	0.4	0.1	0.1	0.1	0.3	0.4	0.6	0.5	0.3	
7	①	하천	20	0.6	80%	0.8	1.5	0.5	0.4	0.6	1.3	1.6	2.6	2.1	1.1	
8	①	하천	44	0.7	50%	0.5	0.9	0.3	0.3	0.3	0.8	1.0	1.5	1.3	0.7	
9	①	하천	153	0.8	50%	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.4	0.2	
10	④	②	86	1.3	50%	0.4	0.8	0.3	0.2	0.3	0.7	0.9	1.4	1.2	0.6	
	③	②	193	0.8	50%	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.3	0.2	
	②	①	157	1.8	50%	0.3	0.6	0.2	0.2	0.2	0.5	0.6	1.0	0.8	0.5	
	①	하천	46	1.8	50%	1.1	2.0	0.7	0.6	0.8	1.7	2.2	3.5	2.9	1.5	

※ 유효단면을 반영 Q 값보다 「RUSA」 호 강우기준량이 클 경우 배수구가 넘침.

을 분석한 Data로 5,6번 배수로를 제외한 모든 배수로가 전체 또는 일부분의 유입구에서 유출 능력을 초과한 우수가 유입되어 배수로가 넘침으로서 인근 저지대 침수 원인을 제공하였으며,

태풍 「RUSA」 호가 동해공장 배수구역 1,911, 400㎡에 뿌린 총 강우량은 약 1,240만㎡ 이고, 시간당 최고90 mm 강우로 94,260 m³/hr의 최대 유출을 기록 하였다.

5.3 배수로 범람현상 발생 원인

- 1) 충분한 우수 유입 및 배수 통수단면 부족과 유입구 불량< 표 5-2 >
- 2) 설비의 신,증설 시 기존 배수로 간섭에 따른 배수로 변경 등 배수기능의 저하원인 제공.
- 3) 우수유출시 지체현상 발생 : No.7 배수로는 병목 현상으로 전용선로의 침수원인(20 mm/hr 이상 강우시 침수)

- 4) 사용시간 경과로 배수로 유출단면 축소(Dust 누적, 토관 함몰 등)로 배수로의 배출능력 감소
- 5) 강우 지속 시 사면붕괴에 의한 배수로의 차단, 배수 유입구 보호용 Screen에 낙엽 또는 쓰레기 흡착에 의한 배수장애, 유량 증가에 따른 배수유속 증가로 배수로 내 토사 유입에 따른 배수유출 단면 축소

6. 수방대책의 수립

6.1 현 배수로의 배수능력 현황

동해공장의 배수로 수문분석 결과 생산2팀은 공장전체의 배수 구역은 69.1%, 배출 능력은 89.7%를 점하고 있어 생산1팀의 배수능력이 2팀에 비해 상대적으로 취약하며 사용 년수도 생산 2팀 약 25년, 생산1팀은 약35년으로 1팀이 매우 취약하다.

<표 5-2> 배수로 유입구 규모 적정성

배수로구분		유입유속 (m/sec)	현재의 유입구 규모				개조시(50년빈도적용)		
No	유입구		높이	넓이	단면(m ²)	통수량	유입량	필요단면	가로×세로
1	①	0.1971	0.60	0.30	0.18	0.035	1.15	5.84	2.42
2	③	0.3262	1.10	1.10	1.21	0.395	1.54	4.71	2.17
	②	0.3403	1.10	1.10	1.21	0.412	0.64	1.89	1.38
3	①	0.2922	0.70	0.50	0.35	0.102	0.33	1.11	1.06
4	④	0.6034	0.65	0.75	0.49	0.294	0.58	0.95	0.98
	③	0.1723	0.65	0.75	0.49	0.084	0.14	0.82	0.91
	②	0.1457	0.65	0.75	0.49	0.071	0.16	1.07	1.03
	①	0.2894	0.35	0.40	0.14	0.041	0.18	0.62	0.79
5	⑥	0.2595	0.75	0.50	0.38	0.097	0.18	0.69	0.83
	⑤	0.4155	0.40	0.55	0.22	0.091	1.08	2.61	1.61
	④	0.2552	0.65	0.70	0.46	0.116	2.38	9.34	3.06
6	①	0.4605			-	-	0.68	1.48	1.22
7	④	0.2176	0.60	0.30	0.18	0.039	1.65	7.58	2.75
	③	0.2246	0.65	0.60	0.39	0.088	0.42	1.88	1.37
	③	0.1965			-	-	0.81	4.13	2.03
8	①	0.2989	0.60	0.70	0.42	0.126	-	-	-
9	①	0.2393			-	-	-	-	-
10	④	0.3715	0.40	0.60	0.24	0.089	-	-	-

<표 6-1> 배수로별 배수유역 면적

No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
유역면적	2,891	3,445	258	977	5,645	357	2,059	683	404	2,395
배수능력	6,724	8,585	3,162	4,266	132,662	3,723	2,065	2,687	2,963	6,313
배수/유역	2.33	2.49	12.28	4.36	23.50	10.43	1.00	3.93	7.33	2.64
구분	생산 2팀 배수구역					생산 1팀 배수구역				

<표 6-2> 생산 1, 2팀 비교

구분	생산2팀 구역	생산1팀 구역	합계
유역면적(m ²)	1,321,550	589,900	1,911,450
배출능력(m ³ /hr)	155,398	17,752	173,150
배수면적 비(%)	69.1	30.9	100
배출능력 비(%)	89.7	10.3	100

중점적으로 관리해야 할 배수로는 <표 6-1>에서 보듯이 No.1, 2, 7, 8, 10번 배수로이며, 특히 7번 배수로의 배출능력이 매우 취약하여 상습침수 피해의 주요 원인임.

태풍 「RUSA」 호로 인한 피해 상황을 분석해보면 생산1팀 구역은 짧은 시간 동안 집중호우로 인해 배수능력을 초과하여 저지대 침수가 발생하였고

생산2팀 구역의 배수로가 사면붕괴에 따른 토사매몰(No.2)로 배수기능의 상실, 우수 유입구(No.5) 협소로 인한 유입우수가 범람, 저지대에 위치한 생산1팀 부지로 배수능력을 초과한 막대한양의 우수(최대 45,000m³/hr) 유출과, 사면붕괴로 8번 배수로 유출이 차단됨으로 인한 배수기능 상실(최대4,800 m³/hr)에 따라 침수 피해를 가중 시킨 원인을 제공 하였음.

6.2 수방대책 추진방향

「RUSA」 호와 같은 집중호우는 강우량 < 배수량 조건 확보가 가장 바람직한 방향이나, 너무 과도한 배출능력을 확보코자 하면 투자비 과다를 초래하게 되고, 또 과소로 유지하면 호우 때 범람을 일으켜 배수로 유지 목적에 위배되는 우를 범할 수 있다. 따라서 동해공장의 수해방재 기준은 미국과 신흥천수해복구 실시설계에 적용한 재현기간 50년 빈도를 기준으로

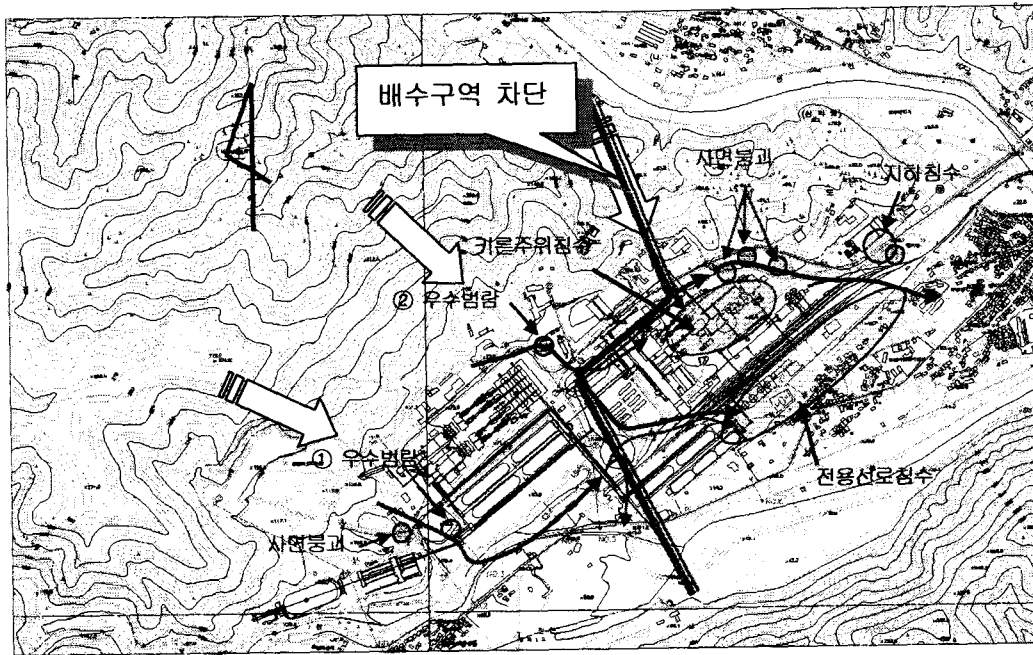
- 1) 5번 배수로 배수능력 최대사용
- 2) 비상대응체제 정비 및 행동계획을 수립

6.2.1 배수구역의 최적화(배수구역의 구분)

배수능력에 여유가 있는 5번 배수로를 중심으로 하여 생산 2팀에서 범람하여 생산1팀으로 유입하는 우수를 완전차단, 생산1팀 배수로의 배수부하율 증가를 방지한다.

<표 7-5> 「RUSA」 호의 집중호우 시간대 우수 유입량

강우시간	단위	16~17시	~18시	~19시	~20시	~21시	계
강우량	mm	44.3	57.0	90.0	75.0	40.0	306.3
생산 1팀	m ³ hr	15,377	19,785	31,239	26,033	13,884	106,318
생산 2팀	m ³ hr	31,020	39,913	63,021	52,518	28,009	214,481
1, 2팀계	m ³ hr	46,397	59,698	94,260	78,551	41,893	320,799



<그림 6-1> 배수구역 차단위치

6.2.2 비상대응 체제 정비

비상시 배수기능 유지를 위한 응급조치와 경보단계별 행동요령을 정비하여 사태 발생시 즉각 대응하는 Action program을 구축하고 시행한다.

강우강도의 기준 빈도를 50년으로 할 때 배수로 10개소 중 유출단면 원상복구 후에도 배출능력이 부족한 배수로는 4개소로 보완이 필요하나, 생산활동에 끼치는 영향성을 고려할 때 투자효율성을 감안하여야 하므로 적정성 검토 후 필요시 유출단면 확대 및 보완작업 시행.

6.2.3 배수시설의 보완

<표 6-2> 각 배수로 유출가능 강우강도 비교

배수로구분			강우강도 I			재현기간별 강우강도 I (mm/hr)					
No	유입	유출	이론치	유효율	적용	20년	30년	50년	80년	100년	200년
1	①	하천	90.6	45.3	50%	74.73	80.17	87.56	94.23	97.38	107.04
2	①	하천	48.5	43.7	90%	85.62	91.79	100.26	107.88	111.48	122.52
3	①	하천	818.6	409.3	50%	129.68	138.79	151.59	163.06	168.47	185.05
4	②	하천	207.8	145.5	70%	70.08	75.20	82.14	88.39	91.35	100.42
5	①	하천	557.0	145.6	80%	81.32	87.20	95.25	102.49	105.92	116.41
6	①	하천	181.0	144.8	80%	137.03	146.62	160.15	172.26	177.97	195.47
7	①	하천	25.2	20.2	80%	86.97	93.23	101.83	109.57	113.23	124.44
8	①	하천	87.4	43.7	50%	122.09	130.70	142.76	153.57	158.67	174.30
9	①	하천	306.5	153.3	50%	108.82	116.55	127.30	136.95	141.51	155.47
10	①	하천	91.3	45.7	50%	90.80	97.32	106.30	114.38	118.19	129.88

<표 7-1> 각 배수로별 비상발령 기준 강우량

배수 구역	지속 시간(hr)	배수능력 (mm/hr)	확률 최대 강우가능 수량(mm/hr)										
			16.0	18.6	21.3	24.0	26.6	32.0	39.9	53.3	66.6	79.9	106.5
1	0.59	45.3	16.0	18.6	21.3	24.0	26.6	32.0	39.9	53.3	66.6	79.9	106.5
2	0.45	43.7	18.4	21.5	24.6	27.6	30.7	36.8	46.0	61.4	76.7	92.1	122.8
3	0.19	409.3	28.4	33.1	37.9	42.6	47.3	56.8	71.0	94.7	118.3	142.0	189.3
4	0.68	145.5	14.9	17.4	19.9	22.4	24.9	29.9	37.4	49.8	62.3	74.7	99.6
5	0.50	445.6	17.4	20.4	23.3	26.2	29.1	34.9	43.6	58.2	72.7	87.2	116.3
6	0.17	144.8	30.1	35.1	40.1	45.1	50.1	60.2	75.2	100.3	125.3	150.4	200.5
7	0.43	20.2	18.7	21.8	25.0	28.1	31.2	37.4	46.8	62.4	78.0	93.6	124.8
8	0.21	43.7	26.7	31.1	35.6	40.0	44.4	53.3	66.7	88.9	111.1	133.3	177.8
9	0.27	153.3	23.6	27.6	31.5	35.5	39.4	47.3	59.1	78.8	98.5	118.2	157.7
10	0.39	45.7	19.6	22.8	26.1	29.4	32.6	39.2	48.9	65.3	81.6	97.9	130.5
1일 예상강우량 (mm/day)			60	70	80	90	100	120	150	200	250	300	400

7. 배수구역별 수해방제 기준설정

비상사태 발생시 즉각 대응할 수 있는 비상대응 체제(Action program) 구축을 위한 기준 설정과 기상상황에 따른 재해발생 위험도 예측을 위한 기준을 설정함.

- 物部 (Mononobe)공식을 적용한 지속시간별 기준강우강도 계산

$$R_t = (R_{24} / 24) \times (24 / T)^n$$

R_t : 강우지속시간별 강우강도 (mm/hr)

R₂₄ : 빈도별 일최대 확률강우량 (mm/day)

T : 강우지속시간 (hr)

n : 계수 (강릉지역 0.5008)

계산결과 7번 배수로는 예상 강우량 70 mm/day 이상일 때 배수로 범람에 의한 인근지

역의 침수 확률이 높아지며 생산 2팀 구역의 No.3, 4, 5번 배수로는 배출능력에 여유가 있음.

8. 효과 파악

8.1 효과

동해공장 부지내의 배수 유출특성 분석 결과에 기초한 수방대책을 수립,시행한 결과 2003년 9월 12일 14호 태풍 『매미』호 영향에 의한 강우(320 mm)에도 생산 1,2 Team Plant의 지하실 등 저지대 침수로 인한 설비 피해 없었음.

8.2 태풍에 의한 수해 발생금액 비교

구분	토건	전기	기계	계
'02년 RUSA 호	381,800	302,467	149,885	834,152
'03년 매미 호	65,000	25,000	-	90,000

- ※ 토건비용 : 배수로내 토사매물 및 사면붕괴 복구비용
- 전기비용 : 습기 침해에 의한 Cable 접지 발생 복구비용 임
- 피해금액은 광산,공장외곽 및 생산손실 비용 제외

9. 결 론

본 수문분석은 동해공장 Plant의 기존 배수로 배수능력과 유출특성을 고찰하고 태풍 『RUSA』 호 피해발생 상황 분석을 통해 수해의 재발 방지를 위한 기존 배수설비의 보완방법 및 방향을 제시 하였고 향후 지속적으로 발생할 수밖에 없는 폭우에 대하여 강우강도별 피해발생 상황 예측을 위한 기준을 설정 함으로서 비상상황에 효율적으로 대응할 수 있도록 하였다.

수문분석 고찰을 통하여 얻어진 결과를 정리 하면 다음과 같다

1. 태풍 『RUSA』 호가 기록한 90 mm/hr의 강우강도는 재현기간 200년 빈도의 天災이다.
2. 동해공장 Plant 주요설비의 침수가능 강우강도는 10번 배수로의 배수능력인 45.7 mm/hr이며 기상청에서 발표하는 예측 강수량으로는 150 mm/day 이상일 경우이다.

3. 동해공장 생산1팀 주변 지하실 및 저지대는 재현기간 30년 빈도의 강우가 발생할 경우 배수능력을 초과 하여 침수가 불가피 하므로 재현기간50년 빈도의 강우를 감당하기 위하여는 배수시설 보완이 필요하다.
4. 5번 배수로는 우수 배출능력이 매우 크므로 5번 배수로를 중심으로 배수계획을 재정비 한다.
5. 생산활동에 끼치는 영향이 적은 일부 시설의 침수는 불가피 하다

< 참 고 문 헌 >

- 1) 업원탁, 최영박 공저 "하수도학" 제2장 하수도의 기본계획 편 p 39~63, 제3장 하수관로 편 p 93 ~ 96(1991)
- 2) 신흥천 수해 복구공사 실시설계 보고서 제4장 하천개수 계획 중 수리, 수문분석 편 p 14 ~29(동해시 2003)