

울산만의 파랑 추정

유 명 진 · 황 충 현

도목공학과

〈요 약〉

풍파를 추정하는 방법 중 시간에 따라 풍속이 변하고 풍역이 이동하는 경우에 가장 적당한 방법인 Wilson의 도식해법을 적용하여 울산만의 심해파를 구하였다. 바람자료로는 한국 남·동해안에 큰 피해를 주었던 사라호 태풍때의 천기도를 이용하였다. 다음에 천해역에서의 파랑의 변형을 가산하여 추정지점의 파랑을 구한 다음 실측치와 비교하여 보았다.

Wind Wave for Ulsan Bay

Yu, Myong Jin and Hwang, Choong Hyune

Dept. of Civil Engineering

〈Abstract〉

Deep water wind wave is obtained by Wilson's graphical method, which is the most satisfactory for predicting deep water wave by variable wind in a variably moving wind system of finite fetch.

Space-time wind field is made by weather maps for Typhoon Sarah, Sept. 1959, which brought serious damage on the south and east coast in Korea. Decay of wave in deep water and that of deep water swell over shallow bottom is obtained and compared with wave record.

I. 서 론

풍파를 추정하는 방법으로 S—M—B법, P—N—J법, Wilson법 등 여러가지 만족할 만한 방법이 있으나 태풍의 경우와 같이 시간에 따라 풍속이 변하고 풍역이 이동하는 경우에는 Wilson의 도식해법이 가장 적당하다. 이 방법을 사용하여 1950년대 이후 한국에 가장 큰 피해를 주고 통과한 Sarah호(1959, 9)때의 천기도에 의하여, 울산만에 제일 영향이 큰 S방향 파랑의 발생역을 구하고 풍역도를 작성하여 심해파를 추정한 후 천해부의 파랑의 변형을 가산하여서 파랑 추정 지점의 파고를 구하고 그것을 실측치와 비교하여 보았다.

II. 본 론

1. 바람자료의 정리

추정 지점에 내습하는 파랑을 발생시킬 풍역을

구하고 파랑이 밀려 올 방향에 대한 풍속을 결정하는 단계이다.

파랑 발생의 주원인인 풍속은 기압경도(기압차/수평거리)에 비례하게 된다. 등압선이 직선일 때는 Coriolis의 힘(지구 회전으로 인한 편향력)으로 바람 방향에 직각으로 작용함과 기압경도에 의한 힘이 주로 작용하며 풍향은 등압선에 평행이며, 이때의 바람을 지형풍(Geostrophic Wind)이라 한다. 등압선이 곡선일 때는 그외 원심력이 작용하며 풍향은 북반구에 있어서는 Fig.1와 같으며 α 각은 표 1과 같

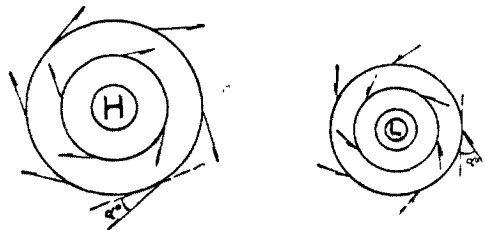


Fig.1 고기압과 저기압에 대한 풍향(북반구의 경우)

표 1 해상풍속과 경도풍속의 관계

위도	10°	20°	30°	40°	50°
α	24°	20°	18°	17°	15°
U_0/U_{gr}	0.51	0.60	0.64	0.67	0.70

다. 이때의 바람을 경도풍(Gradient Wind)이라 한다. 경도풍속은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$U_{gr} = \pm r \left(\sqrt{\omega^2 \sin^2 \phi \pm \frac{G}{\rho r}} - \omega \sin \phi \right)$$

r : 등압선의 곡률 반경

ω : 지구 자전의 각속도 ($7.29 \times 10^{-5} \text{sec}^{-1}$)

ρ : 공기 밀도

ϕ : 관측점의 위도

G : $\Delta p / \Delta r$: 기압 경도

(-)는 곡률 중심이 고기압측

(-)는 곡률 중심이 저기압측

이식은 계산하기가 곤란하므로 Fig.2와 같이 경도 풍속 결정의 Nomograph를 만들어 이용한다.

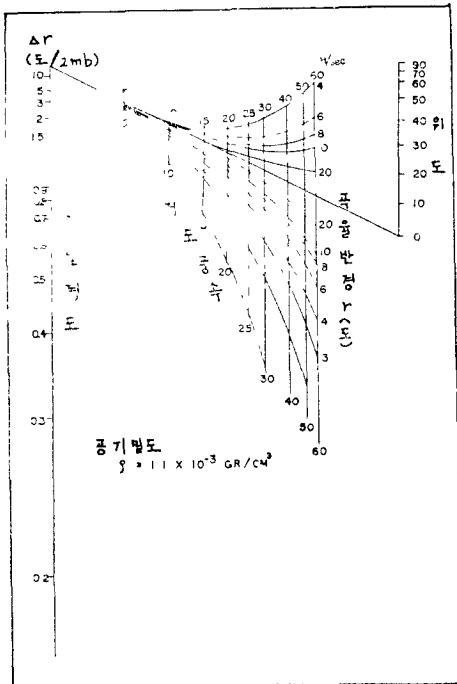


Fig.2 풍속 결정의 Nomograph

표 1에 의하여 해상 풍속(U_0)을 구할 수 있고 정확히 하려면 기온 기압에 따라 보정을 하여 주어야 한다. 지형풍속은

$$V_{gs} = \frac{G}{2\rho\omega \sin \phi}$$

의 식으로 표시된다.

추정 지점에 도달하는 파랑을 발생시키는 풍역은 Fig.3과 같이 천기도 상의 임의의 점 O에서의 풍향과 목표 지점 P에 이르는 선이 이루는 각이 $\pm 30^\circ$ 가 되는 점들을 포함하는 범위로 본다.

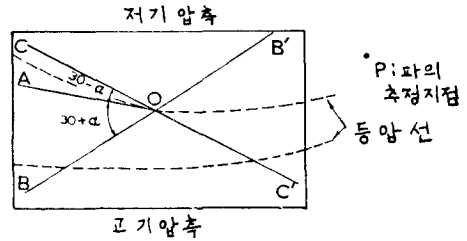


Fig.3 풍역의 결정도

1959.9.15, 02:30부터 1959.9.17, 21:00까지 10개의 천기도에서 해상풍이 강할 등압선이 조밀한 부분만의 풍역도를 구하면 Fig.5~14와 같다. 이들을 Fig.4에 총괄하여 풍역이 많이 중복되는 I, II 방향을 그리면 추정 지점에 밀려 올 파랑을 발생시킬 주방위가 된다. 각 천기도에서 주방위 선상의 점들의 주방위에 대한 해상 풍속분력을 구하면 표 2와 같게 된다.

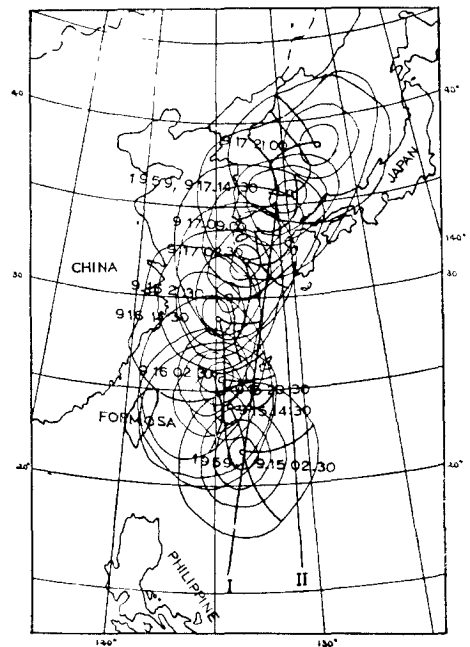


Fig.4 주방위와 풍역의 변동 상황도

표 2. 주방위 방향의 풍속 분력 Direction-I

일 시			점	Dr	위도	r	U _{gr}	a	보정 계수	b	cosb	U	D		비	고
월	일	시											위도	KM		
9		1502:30	A ₁	0.85	28.5	27.6	56°	0.64	74°	0.276	4.87	6.9	765	a : 주방위와 접선이 이루는 각 b : 주방위와 풍향이 이루는 각 D : 파랑추정지점까지의 거리 α : 18° 보정계수 ; 0.64 $A_1 U_{gs} = \frac{11.2}{Dr \sin \phi}$ $= \frac{11.2}{0.85 \times \sin 28.5^\circ}$ $= 27.6$ $A_{14} U_{gs} = \frac{11.2}{Dr \sin \phi}$ $= \frac{11.2}{0.8 \sin 15.4^\circ} = 52.8$		
			A ₂	0.8	26.7	5.4	20	68	"	86	0.070	0.9	8.9		987	
			A ₃	0.15	21.0	1.0	32	94	"	76	0.242	5.0	15.0		1,665	
			A ₄	0.1	20.8	1.2	42	90	"	72	0.309	8.3	15.1		1,675	
			A ₅	0.2	20.4	1.5	32	94	"	76	0.242	5.0	15.4		1,710	
			A ₆	0.2	19.8	1.9	35	86	"	68	0.375	8.4	15.7		1,742	
			A ₇	0.1	19.6	2.2	57	91	"	73	0.292	10.6	15.8		1,753	
			A ₈	0.15	19.3	2.4	45	99	"	81	0.156	4.5	16.2		1,800	
			A ₉	0.2	19.0	2.5	40	92	"	74	0.276	7.1	16.7		1,853	
			A ₁₀	0.2	18.7	2.6	40	90	"	72	0.309	7.9	17.0		1,887	
			A ₁₁	0.2	18.4	3.0	43	102	"	84	0.105	2.9	17.2		1,910	
			A ₁₂	0.35	17.8	3.9	36	96	"	78	0.208	4.8	18.0		1,997	
			A ₁₃	0.4	17.0	5.0	36	88	"	70	0.342	7.9	18.8		2,046	
			A ₁₄	0.8	15.4	52.8	104	"	86	0.070	3.7	20.5	2,275			
9		1514:30	A ₁	0.6	29.0	5.6	23	59	"	77	0.225	3.3	6.4	711		
			A ₂	0.5	27.8	4.7	26	66	"	84	0.105	1.7	7.6	843		
			A ₃	0.35	26.8	3.7	32	61	"	79	0.191	3.9	8.7	966		
			A ₄	0.25	26.0	2.8	36	41	"	59	0.515	11.9	9.4	1,042		
			A ₅	0.15	25.4	2.2	41	44	"	62	0.469	12.3	10.2	1,132		
			A ₆	0.15	24.7	1.5	35	33	"	51	0.629	14.1	10.8	1,198		
			1	0.1	23.0	1.6	46	31	"	13	0.974	28.7	12.3	1,366		
			2	0.2	22.4	2.1	36	42	"	24	0.914	21.1	13.1	1,454		
			3	0.2	22.0	2.6	37	46	"	28	0.883	20.8	13.7	1,521		
			A ₇	0.5	20.7	3.7	27	45	"	27	0.891	15.4	15.1	1,676		
A ₈	0.9	18.6	5.3	22	57	"	39	0.777	11.0	17.0	1,888					
A ₉	0.7	17.5	7.4	28	77	"	59	0.515	9.4	18.2	2,020					
9		1520:30	A ₁	0.65	29.4	5.0	22	67	"	85	0.087	1.2	6.2	688		
			A ₂	0.15	27.7	3.6	50	53	"	71	0.326	10.4	7.5	833		
			A ₃	0.25	27.5	3.2	37	48	"	66	0.407	9.7	8.1	899		
			A ₄	0.15	26.6	2.6	46	40	"	58	0.530	15.6	8.8	976		
			A ₅	0.1	26.2	1.8	48	31	"	49	0.656	20.2	9.3	1,032		
			A ₆	0.15	25.8	1.8	38	25	"	43	0.731	17.8	9.7	1,078		
			1	0.15	24.6	2.0	40	15	"	3	1.000	25.6	11.2	1,242		
			2	0.25	23.0	3.0	37	30	"	12	0.978	23.2	12.3	1,366		
			3	0.35	22.0	3.6	33	37	"	19	0.946	19.9	13.5	1,499		
			4	0.3	21.3	4.0	37	52	"	34	0.829	19.6	14.6	1,621		
A ₇	0.25	20.6	4.6	44	48	"	30	0.866	24.4	15.2	1,687					
A ₈	0.75	18.9	6.0	24	52	"	34	0.829	12.7	16.6	1,842					
9		1602:30	A ₁	0.45	30.8	6.1	29	55	"	73	0.292	5.4	4.8	534		
			A ₂	0.45	29.6	4.5	27	48	"	66	0.407	7.0	6.2	688		
			A ₃	0.2	28.0	3.7	43	39	"	57	0.545	15.0	7.5	833		
			A ₄	0.3	27.4	2.9	32	22	"	40	0.766	15.7	8.2	911		

일 월	시 일	시 시	점	Jr	위도	r	U_{gr}	a	보정 계수	b	$\cos b$	U	D		비	고
													위도 단위	KM		
				1	0.1526.1	2.2	42	80.64	26	0.898	24.1	9.6	1.066			
				2	0.224.8	2.4	37	24	"	6	0.995	23.7	10.8	1.198		
				3	0.2524.0	4.1	42	27	"	9	0.988	26.5	11.5	1.278		
				4	0.522.2	5.6	28	34	"	16	0.961	17.2	13.3	1.476		
				5	0.719.7	7.2	27	49	"	31	0.857	14.8	16.0	1.776		
9	16	14:30	A_1	0.632.2	5.3	23	56	"	74	0.276	4.1	3.2	325			
			A_2	0.3531.4	4.4	33	38	"	56	0.559	11.7	4.5	499			
			A_3	0.229.6	3.6	42	30	"	48	0.669	18.0	6.0	666			
			1	0.227.6	4.0	44	19	"	1	1.000	28.1	8.1	899			
			2	0.524.7	5.2	28	37	"	19	0.946	16.9	10.9	1,210			
			3	0.922.2	7.2	22	46	"	28	0.883	12.4	13.5	1,499			
9	16	21:30	A_1	0.333.7	5.2	36	63	"	81	0.156	3.6	1.5	167			
			A_2	0.1533.0	3.8	49	47	"	65	0.423	13.3	2.2	244			
			A_3	0.332.5	3.5	33	47	"	65	0.423	8.9	2.7	299			
			A_4	0.232.0	2.7	37	33	"	51	0.629	14.9	3.6	399			
			A_5	0.331.2	2.4	28	18	"	36	0.809	14.5	4.6	511			
			1	0.2529.0	2.3	32	20	"	2	0.999	20.4	6.4	711			
			2	0.1528.4	2.6	44	26	"	8	0.990	27.9	7.2	798			
			3	0.2527.4	4.7	42	34	"	16	0.961	25.8	8.2	911			
			4	0.321.5	5.2	41	44	"	26	0.899	23.6	9.4	1,042			
			A_6	1.123.1	7	18	43	"	25	0.906	10.4	12.6	1,399			
9	17	02:30	A_1	0.435.4	4.1	28	62	"	80	0.174	3.1	0.1	11			
			A_2	0.334.5	3.2	33	57	"	75	0.259	5.5	0.8	88			
			A_3	0.433.6	2.5	24	62	"	80	0.174	2.7	1.6	178			
			A_4	0.1532.6	3.1	46	35	"	53	0.602	18.5	2.6	289			
			A_5	0.132.0	3	65	20	"	38	0.788	32.8	3.4	378			
			1	0.2530.4	1.8	28	26	"	8	0.990	17.8	5.2	577			
			2	0.1529.8	2.2	41	38	"	20	0.940	24.7	5.7	633			
			3	0.2529.0	4.2	39	42	"	24	0.914	22.8	6.6	733			
			4	0.2528.2	7.0	47	37	"	19	0.946	28.4	7.4	822			
			5	0.327.2	9.0	45	38	"	20	0.640	27	8.5	944			
			6	1.423.2	9.0	15	39	"	21	0.934	9.0	12.6	1,399			
9	17	09:00	A_1	0.335.5	2.2	27	70	"	88	0.035	0.6	0	0			
			A_2	0.234.8	1.8	33	66	"	84	0.105	2.2	0.6	67			
			A_3	0.2534.3	1.2	25	37	"	55	0.573	9.2	0.8	89			
			1	0.1532.8	1.2	32	29	"	11	0.981	20.1	2.3	253			
			2	0.2532.2	1.8	28	39	"	21	0.934	16.8	3.3	367			
			3	0.231.6	2.3	35	42	"	24	0.914	20.5	4.0	444			
			A_4	0.3530.6	2.8	27	44	"	26	0.899	15.4	4.8	534			
			A_5	0.330.0	4.6	37	48	"	30	0.866	20.5	5.4	599			
			A_6	0.728.3	5.4	22	54	"	36	0.809	11.4	7.2	798			
			A_7	0.427.2	6.2	34	46	"	28	0.883	19.2	8.4	933			
			A_8	0.426.0	7.5	37	48	"	30	0.866	20.5	9.7	1,078			

일 시			점	Δr	위도	r	U_{gr}	a	보정 계수	b	$\cos b$	U	D		비	고
월	일	시											위도	KM		
9	17	14:30	A_1	0.2	34.3	1.7	31	108	0.64	90	0	0	1.2	133		
			A_2	0.15	34.1	2.0	35	92	"	74	0.275	6.0	1.5	166		
			A_3	0.3	33.6	2.6	32	78	"	60	0.500	10.7	2.0	222		
			A_4	0.3	32.6	2.3	30	83	"	65	0.422	8.1	2.7	300		
			A_5	0.2	32.3	3.5	42	84	"	66	0.406	10.9	3.3	366		
			A_6	0.75	30.9	4.7	19	85	"	67	0.390	7.7	4.8	532		
			A_7	0.6	29.8	4.2	22	87	"	69	0.358	5.0	5.7	633		

주방위 방향에 대한 풍속분력 Direction-II

일 시			점	Δr	위도	r	U_{gr}	a	보정 계수	b	$\cos b$	U	D		비	고	
월	일	시											위도	KM			
9	15	02:30	A_1	0.7	27.4	34.8	48	0.64	66	0.406	9.0	8.1	899	$A_1 V_{gs} = \frac{11.2}{\Delta r \sin \phi}$ $= \frac{11.2}{0.7 \times \sin 27.4^\circ} = 34.8$			
			A_2	0.3	25.6	86.5	53	"	71	0.325	18.0	9.9	1,099				
			A_3	0.4	24.7	3.4	28	51	"	69	0.358	6.4	10.8				1,198
			A_4	0.4	23.6	3.0	27	39	"	57	0.544	9.4	11.9				1,320
			1	0.2	20.3	3.1	42.5	38	"	20	0.940	22.9	15.2				1,687
			2	0.3	19.4	3.6	37	38	"	20	0.939	22.2	16.1				1,787
			3	0.6	18	4.9	23	48	"	30	0.866	12.8	17.5				1,941
A_5	0.6	15.6	4.0	19	51	"	33	0.838	10.2	19.9	2,210	$A_2 V_{gs} = \frac{11.2}{\Delta r \sin \phi}$ $= \frac{11.2}{0.3 \times \sin 25.6^\circ} = 86.5$					
9	15	14:30	A_1	0.4	27.8	6.7	34	35	"	53	0.602	13.1	7.6	843			
			A_2	0.5	26.2	3.6	24	26	"	44	0.719	11.0	9.2	1,021			
			1	0.5	23	4.0	27	18	"	0	1.000	17.3	12.4	1,376			
2	1.1	18.2	7.0	19	65	"	47	0.682	8.3	17.2	1,908						
9	15	20:30	A_1	0.65	28.3	5.2	22	37	"	55	0.574	9.8	8.1	798			
			1	0.8	21.6	5.7	21.5	34	"	16	0.961	13.8	13.2	1,542			
9	16	02:30	A_1	0.5	29.4	6.8	28	27	"	45	0.707	12.7	5.8	644			
			1	0.75	23.3	7.0	23	33	"	15	0.966	14.1	11.9	1,321			
9	16	14:30	A_1	0.6	31.6	6.1	23	35	"	53	0.602	8.9	3.8	422			
			1	0.65	25.1	8.3	27	29	"	11	0.932	17.0	10.3	1,143			
9	16	21:30	A_1	0.4	33.6	5.4	30	43	"	64	0.438	8.4	1.8	199			
			A_2	0.15	32.2	4.2	51	22	"	40	0.766	24.9	3.2	325			
			A_3	0.3	31.4	3.6	32	10	"	28	0.883	18.1	4.0	444			
			1	0.3	30.2	3.8	36	10	"	8	0.990	23.0	5.2	577			
			2	0.35	28.3	4.8	34	27	"	9	0.988	21.4	7.1	787			
			3	1.0	25.1	6.3	16	39	"	21	0.934	9.6	10.3	1,143			
9	17	02:30	A_1	0.4	35.4	4.1	27	50	"	68	0.375	6.5	0.1	11			
			A_2	0.3	34.1	3.2	31	44	"	62	0.469	9.3	1.4	155			
			A_3	0.35	33.3	2.5	26	34	"	52	0.616	10.2	2.2	244			
			1	0.25	30.5	5.2	41	26	"	8	0.990	26.0	5.0	555			
			2	0.15	29.7	5.8	59	35	"	17	0.956	36.1	5.8	644			
			3	0.2	28.8	7.0	53	41	"	23	0.921	31.3	6.6	732			

일 월	시 일	시	점	Δr	위도	r	U_{gr}	a	보정 계수	b	$\cos b$	U	D		비	고	
													위도 단위	KM			
			4	0.75	21.5	8.0	26	44	0.64	26	0.899	14.9	9.0	9.0	999		
9	17	09:00	A_1	0.3	35.5	2.3	27	69	"	87	0.052	0.9	0.0	0.0			
			A_2	0.25	34.7	1.9	28	64	"	82	0.139	2.5	0.8	0.8	88		
			A_3	0.3	34.1	1.2	22	6	"	24	0.914	12.8	1.4	1.4	155		
			1	0.3	32.7	3.7	32	38	"	20	0.940	19.2	2.8	2.8	311		
			2	0.25	32.3	4.0	38	46	"	28	0.882	21.4	3.2	3.2	355		
			3	0.25	31.5	5.7	42	43	"	25	0.906	24.4	4.0	4.0	444		
			4	0.25	30.4	5.2	41	46	"	28	0.883	23.2	5.1	5.1	566		
			A_4	0.5	29.4	7.8	30	36	"	18	0.951	18.3	6.5	6.5	722		
A_5	0.2	28.7	9.0	57	38	"	20	0.940	34.2	6.8	6.8	755					
A_6	0.45	27.6	10.5	36	35	"	17	0.956	22	7.9	7.9	876					
9	17	14:30	A_1	0.15	34.2	1.7	36	95	"	67	0.390	9.0	1.2	1.2	133		
			A_2	0.15	34	2.0	38	90	"	62	0.469	12.1	1.4	1.4	155		
			A_3	0.3	33.7	2.6	31	79	"	61	0.484	9.6	1.9	1.9	213		
			A_4	0.3	32.8	2.3	29	77	"	59	0.515	9.6	2.7	2.7	300		
			A_5	0.2	32.4	3.5	42	82	"	64	0.438	11.8	3.2	3.2	355		
			A_6	0.7	31	4.7	20	74	"	56	0.559	7.2	4.5	4.5	499		
			A_7	0.6	29.7	4.2	20	84	"	66	0.405	5.2	5.7	5.7	633		

Fig. 15~16과 같이 횡축을 목표지점에서 부터의 거리 종축을 경과 시간으로 하여 주방위에 대한 풍

속분력치를 기입한 후 동풍속대를 이어면 풍속도 (Wind field)가 완성된다.

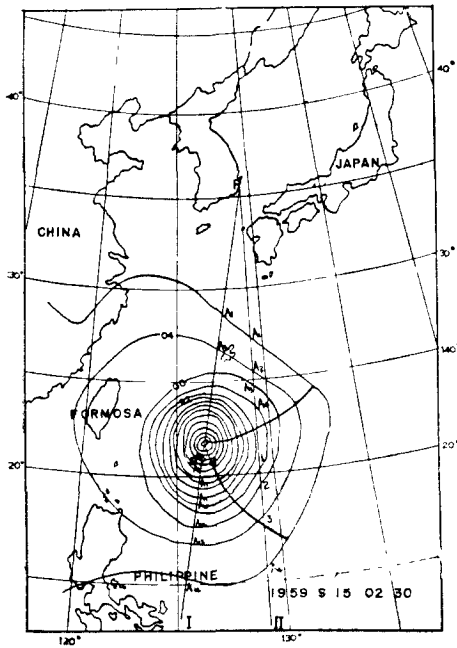


Fig. 5 풍속도

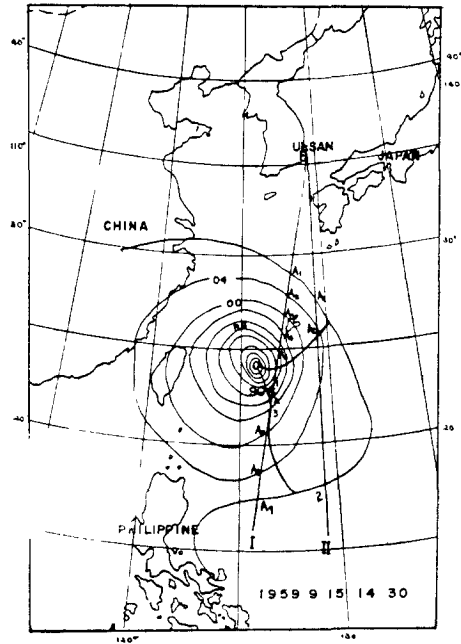


Fig. 6 풍속도

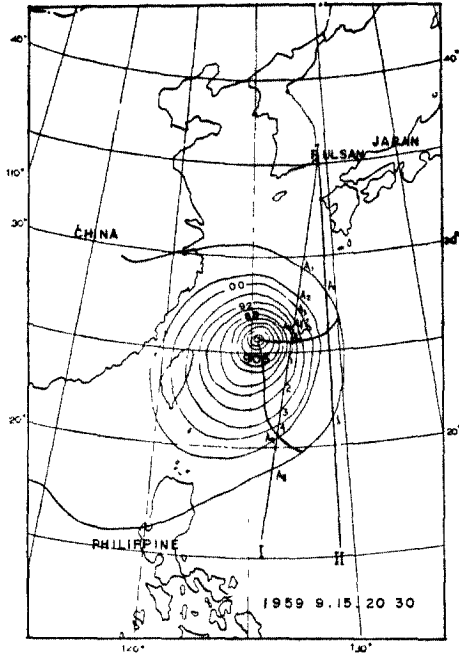


Fig. 7 등압도

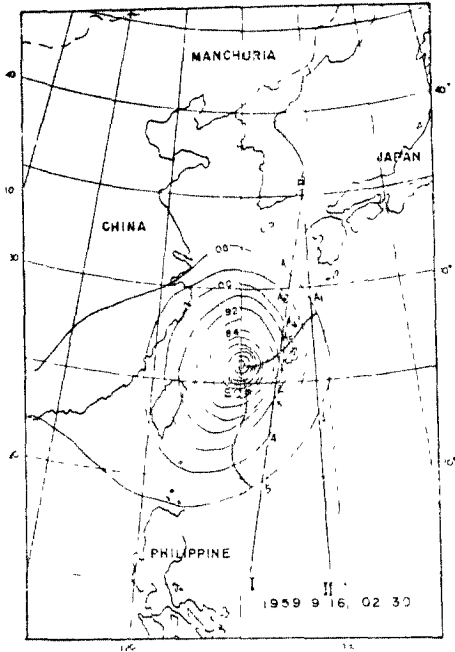


Fig. 8 등압도

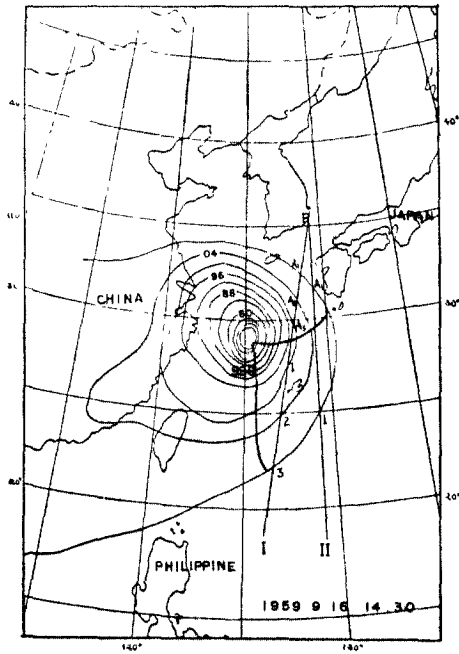


Fig. 9 등압도

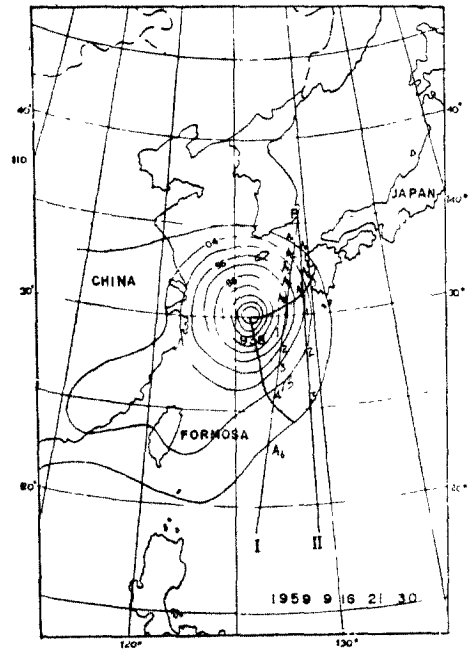


Fig. 10 등압도

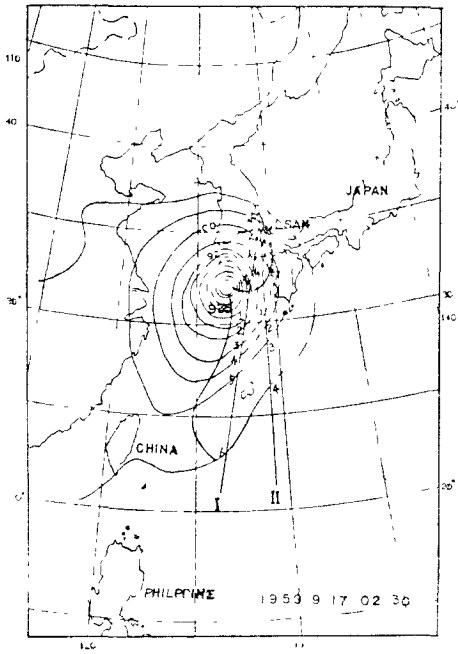


Fig.11 풍역도

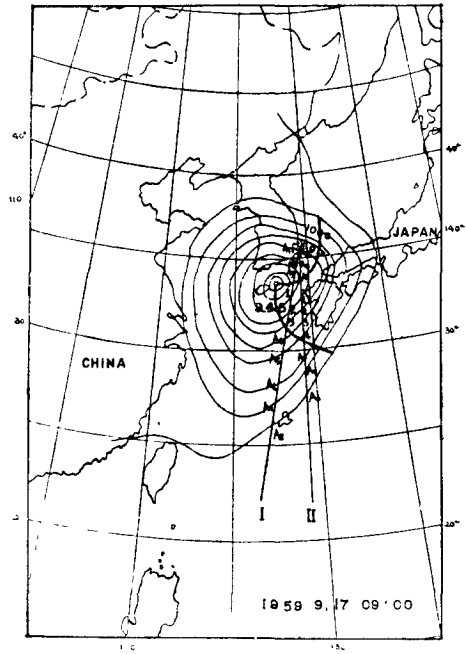


Fig.12 풍역도

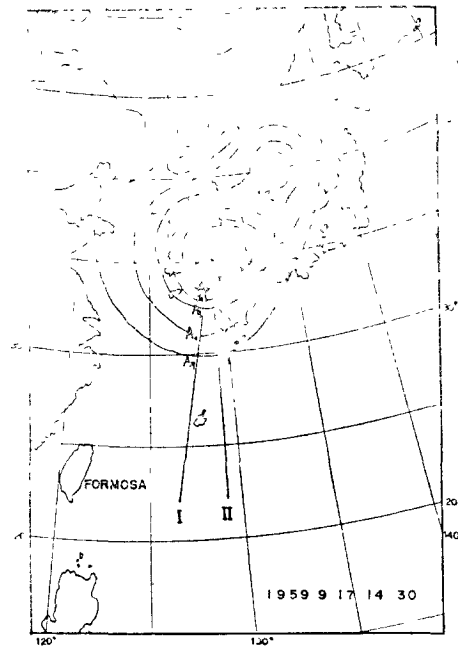


Fig.13 풍역도

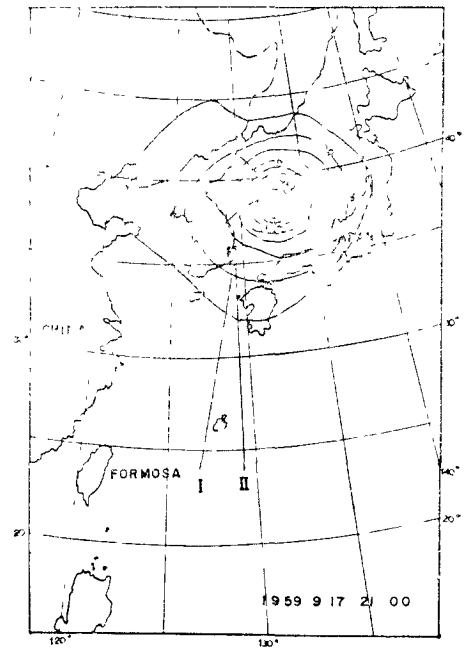


Fig.14 풍역도

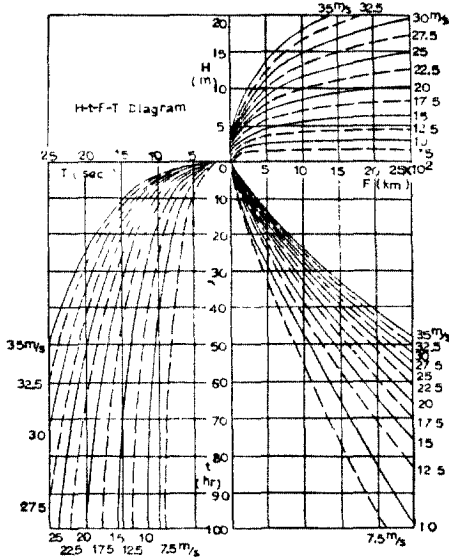


Fig. 15 H-t-F-T도

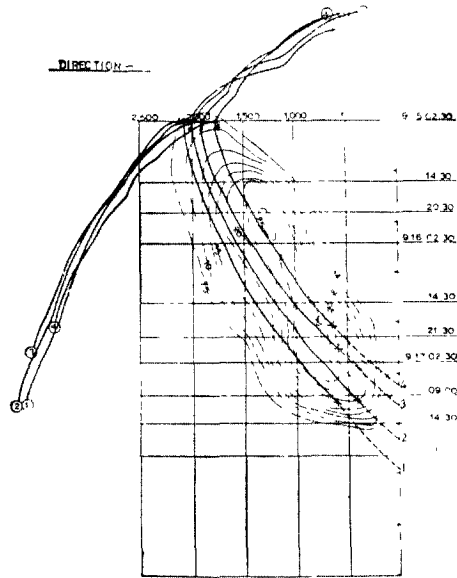


Fig. 16 파랑 발달도

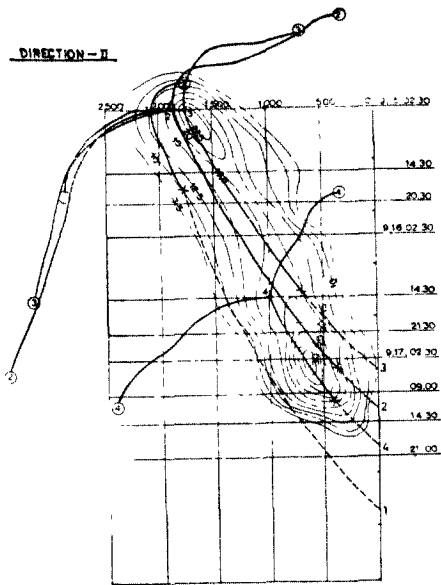


Fig. 17 파랑 발달도

2. Wilson법에 의한 실패파 추정

실패를 풍역이 이동할 때 파란이 발달하며 진행되는 과정을 Fig. 15의 같이 H-t-F-T도를 만들어 도식적으로 계산하는 방법이다. 윌슨은 이동 풍역의 파당을 추정하는 데

$$\frac{gH}{U^2} = 0.26 \tanh \left[\frac{1}{10^2} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/2} \right]$$

$$\frac{C}{U} = 1.40 \tanh \left[\frac{4.36}{10^2} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/3} \right]$$

H : 파고 (m)

T : 주기 (sec)

F : 취송거리 (m)

U : 풍속 (m/sec)

g : 중력가속도 (m/sec²)

의 관계식으로 H-t-F-T도를 만들었으나 Bre-tsneider는 같은 관측치에 의하여

$$\frac{gH}{U^2} = 0.0040 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0.4}$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = 0.085 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0.26}$$

의 식이 더 잘 맞는 것을 입증하였으므로 여기서는 브레트슈나이더 식에 의하여 Fig. 15를 만들어 사용하였다. 윌슨법에 의하여 취송 거리 취송 시간에 대하여 파고 주기를 구하던 Fig. 16, 17과 같게 된다. 풍역 종단에서의 최대 파고는 I 방향으로 9, 15, 02 : 30에 목표 지점으로부터 1990KM 거리에서 출발한 파랑으로 파고 10.6M 주기 17.1sec에 이르게 된다.

3. 나뭇(Swell)의 추정

풍속이 감소되어 그 이상 파고가 증가하지 않으면 그 지점부터는 Swell로 계산하게 된다. 즉 풍

리에서 발생한 파란은 증폭되므로 나오게 되면 파란에 의한 Energy증분이 커져지고 풍기의 저항, 너무 비할 또는 방향의 속도 분산에 의하여 파고는 낮아지고 주기는 길어지게 된다. 이에 대하여는 Sverdrup-Munk의 이론을 수정하여 Bretschneider가 넣은 단주기풍 기초로 되어 잡히된 파란의 파고 H_d , 주기 T_d 는 풍역 중심의 파고 H_f , 주기 T_f 의 잡히 거리 D , 그 파랑은 일정한 풍역의 길이 F 와

$$\frac{D}{H_d} = f_1 \left(\frac{D}{H_f}, \frac{D}{F} \right)$$

$$\frac{D}{gT_d^2} = f_2 \left(\frac{D}{gT_f^2}, \frac{D}{F} \right)$$

의 함수 관계가 있다는 것을 알아내고 도표를 얻었다. 이때 F 는 풍속에 의하여 결정되는 최소 파장 거리이다. Swell의 진행 속도는 주기 T_d 와 파란의 단주기파와 같으며 일정한 파고로 보아 잡히 거리 D - 진행하는 데 걸리는 시간

$$t_d = \frac{D}{gT_d/4\pi} \text{ 이다.}$$

울산항이 도달하는 파랑이 대하여 파란의 잡히 거리가 3과 같다. 파랑이 최대 잡히거리는 7.4 M가 된다.

표 3. 파랑의 계산

풍 상	방향	F	D	H_f	T_f	D/H_f	D/F	D/T_f^2	D/H_d	H_d	D/T_d^2	T_d	t_d	D	비
입	시	거리											$= .356 \frac{D}{T_d}$		코
Sarah Direction-I															
		KM	KM	KM	m	sec				M		sec		hrs	
9/15/0230		2070	780	610	8.9	14.4	68.5	0.78	2.94	120	5.1	2.0	17.5	12.4	1
"		1990	1300	390	10.6	17.1	36.7	0.30	1.33	53	7.3	1.1	18.8	7.4	2
"		1900	1100	580	10.4	16.5	55.7	0.52	2.13	90	6.4	1.7	18.5	11.2	3
"		1760	860	630	10.3	15.7	61.1	0.73	2.55	110	5.7	1.8	18.7	12.0	1
Sarah Direction-II															
9/15/0230	2090	270	1800	2.6	8.0	692.3	6.6	28.12	2750	0.7	16.0	10.5	61.0	1	
9/15/0230	1870	1100	370	8.9	15.5	41.5	0.33	1.54	62	6.0	1.2	17.5	7.5	2	
9/15/0230	1770	1070	700	7.0	14.2	100.0	0.65	3.47	180	3.8	2.5	16.7	14.0	3	
9/16/1430	1000	500	400	9.8	14.2	40.8	0.8	1.98	72	5.5	1.4	16.9	8.4	1	

4. 천해역에서의 파랑 변형

파고가 수심이 그 파장의 1/2정도 이하일 천해역에 들어오면 파고의 영향을 받아 파고, 파랑 방향 등이 변하게 된다.

각계부터 천해역에서의 파랑 변형이 매우 수심, 파고, 파기 파장등의 영향을 받기도 한다.

4.1 수심에 의한 파고의 변화

실해파가 천해역으로 들어오면 수심의 영향으로 파고가 변하게 되며 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$H = K_s H_0$$

$$= K_s \sqrt{\frac{1}{2n}} C_0/C$$

$$n = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]$$

K_s : 천수계수(Shoaling Factor)

H_0 : 심해파고(m)

H : 천해파고(m)

C/C_0 : 심해파고에 대한 천해파고수

h : 수심(m)

n : 굴절도의 지수

4.2 굴절에 의한 파고의 변화

파란이 파장에 비례하여 진행속도가 달라지므로 파랑선과 파봉선이 평행하지 않게 되며 비가 많은 해역에 도달한 파봉 부분은 속도가 느려지고 같은 곳에서 진행하고 있는 부분은 그 속도가 빠르므로 파봉은 좁아져서 수심에 평행하게 된다. 이리하여 파란이 수심을 하게 되면 해안에서는 물결이 수렴하는 곳과 분산하는 곳이 생기게 되어 파고가 변하게 되며 다음 식으로 표시된다.

$$H_0' = K_r H_0$$

$$K_r = \sqrt{b_0/b}$$

H_0' : 굴절후의 파고(M)

K_r : 굴절계수

b_0, b : 굴절 전후의 파랑선 간격

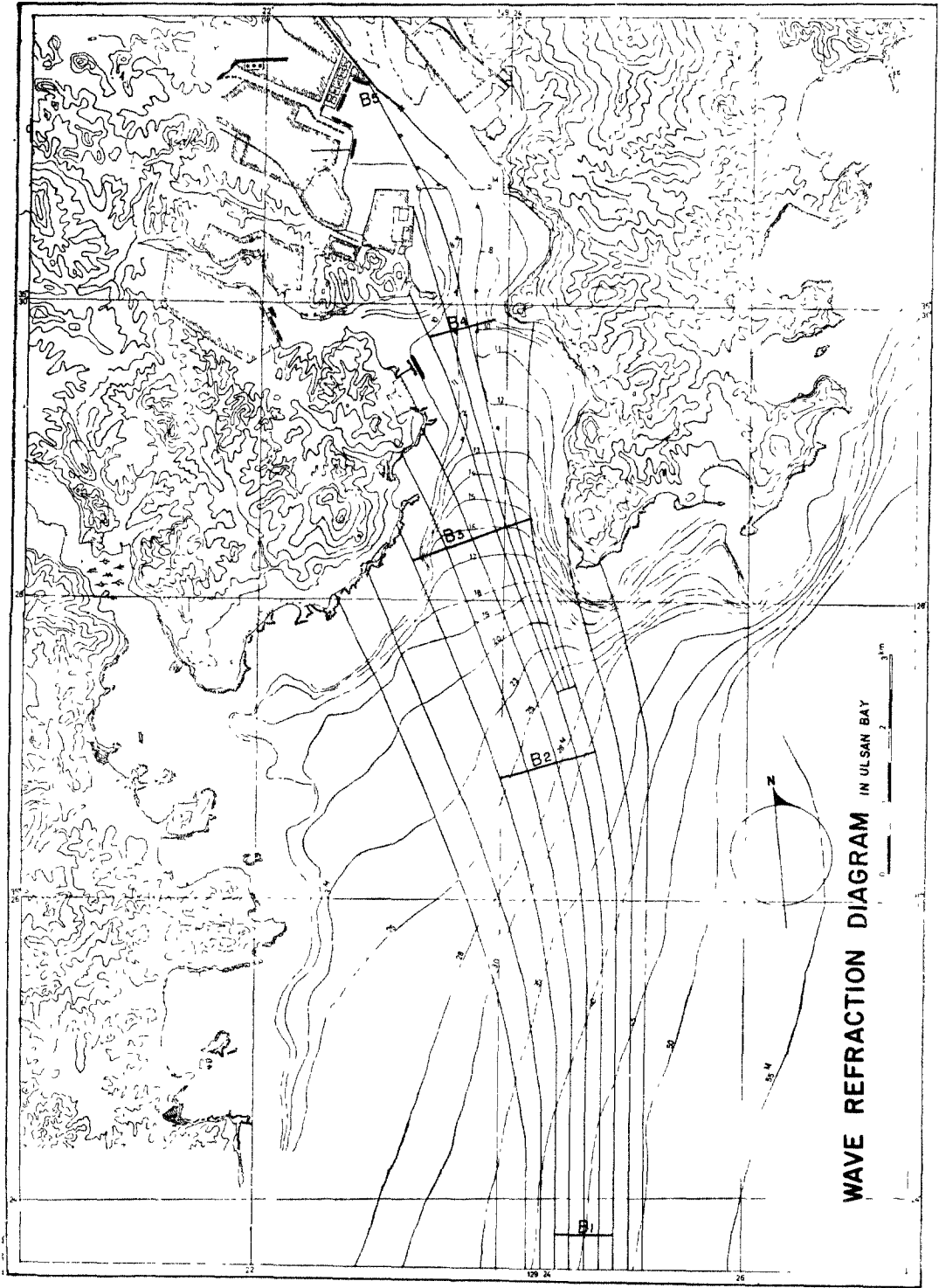


Fig. 18 파랑 굴절도

굴절도 작성법에는 파향선법과 파봉선법이 있다. 울산만의 S방향 파고 7.4M의 심해파랑에 대하여 파고변화가 큰 수심 70M 부근 파향선법에 의하여 근실도를 그리면 Fig. 18과 같게 된다.

4.3 레이 마찰에 의한 파고의 변화

파랑이 천해역을 진행하면 레이 마찰을 받아 에너지를 잃어 파고가 감소된다. 일정 수심 h 인 해면을 Jx 만큼 진력하면 다음식과 같이 파고가 변화하게 된다.

$$H_s = K_f H_n$$

$$K_f = \left(1 + \frac{f \cdot H_1 \cdot \phi_f \cdot \Delta x}{K_s T^4} \right)^{-1}$$

$$\phi_f = \frac{64}{3} \frac{\pi^3}{g^2} \left(\frac{K_s}{\sinh(2\pi h/L)} \right)^4$$

K_f : 감쇠계수

K_s : 천수계수

f : 마찰계수 (보통 0.01~0.02)

h : 수심(M)

L : 파장(M)

T : 주기(sec)

이상의 수심 감소, 파랑의 굴절, 레이 마찰등의 영향으로 파랑이 해안에 접근하여 천해역에 들어오게 되면 아래의 식과 같이 심해파고 H_0 는 천해 파고 H 도 변하게 된다.

$$H = K_s K_f K_f H_0$$

천해역의 수심이 일반적으로 일정하지 않으므로 몇개의 구간으로 나누어 각구간 별로 평균 수심은 구하고 위의 식에 의하여 계산을 진행하면 파랑 추정 지점의 천해파를 구할 수 있게 된다. 울산만의 경우 S방향 심해 파고 7.4M인 파랑에 대하여 파고변화가 큰 70M 수심부터 파랑 변형을 계산하면 표 5와 같다. 만일구에서는 파고가 5.1M가 되고 내항에서는 파고가 2.2M가 된다.

표 4. 천해파고 계산

구간	1	2	3	4	5	6
항목						
$H_{on} = K_{fn-1} H_{on-1}$	7.4	7.22	6.85	6.28	5.49	4.69
$\Delta x(M)$: 구간거리	6,000	5,400	3,000	2,500	1,800	1,400
$h_n(M)$: 구간평균 수심	60	40	23	14	10	10
$K_{rn} \sqrt{\frac{B_{n-1}}{B_n}}$	$B_0=1.000$ $B_1=1.000$	$B_1=1.000$ $B_2=1.375$	$B_2=1.375$ $B_3=1.850$	$B_3=1.850$ $B_4=3.750$	$B_4=3.750$ $B_5=3.750$	$B_5=3.750$ $B_6=3.750$
$K_{rn-1} \cdot K_{rn}$	1.000	0.852	0.865	0.702	1.000	1.000
h_n/T_n^2	0.169	0.113	0.065	0.040	0.028	0.028
K_s	0.920	0.967	1.060	1.175	1.275	1.275
K_{sn}/K_{sn-1}	0.92	1.051	1.096	1.108	1.085	1.000
$H_n = \frac{K_{rn-1} \cdot K_{rn} \cdot K_{sn} \cdot H_{on}}{K_{sn}/K_{sn-1}}$	6.80	6.46	5.54	3.81	3.08	2.42
$\frac{f \cdot H_n \cdot \Delta x_n}{h_n^2}$	0.17	0.329	0.471	0.728	0.831	0.508
K_{fn}	0.977	0.95	0.918	0.875	0.856	0.905
$H_s = K_{fn} \cdot H_n$	6.63	6.13	5.08	3.33	2.63	2.19

5. 울산만의 파고 관측

울산특별건설국에서 1962년 11월 3일부터 현재까지 용감동(N: 30°28'17" E: 129°23'21")에서 Stereo식 파고계에 의하여 1일 3회 09:00 13:00 17:00에 10분간씩 목적으로 관측하여 오고 있다. 그간의 최대파고 기록은 1964년 1월의 3.8M이었고, S방향 최대파고 기록은 1969년 8월 12일 13시의 2.84M이었다. 이 관측기간은 울산만에 내습할 풍

분히 큰 파랑을 기록할 강기간이 아니다. 관측전인 1959년 9월의 사라호 대풍서 만일구에서 5M였다는 말이 있으나 확실한 기록은 없다. 근년중 파랑계가 자기식으로 대체될 계획이라고 하므로 장차는 파랑 분석에 의하여 울산만 파랑 특성은 간 알 수 있을 것이다.

Ⅲ. 결 론

사다르 개의 천기도에 의하여 울산만에 제일 큰 영향유 주는 S방향에 대하여 풍역도를 산출고 Wilson방법에 의하여 심해파를 도식 방법으로 구하였다.

다음에 파의 감쇠, 천해부의 비랑의 변형을 추산하여 울산만의 파고를 구하였다. 난입구에서 계산치가 5.1M가 되었는데 확실한 관측치는 없으나 실제로 대풍시 5M쯤 되었다고 하니 비교적 일치하는 결과이다. 실제 파랑 관측 기록으로는 S방향 최대 파고가 2.84M이나 장기간의 관측이 아니었으므로 더 큰 파랑이 내습할 가능성이 있다. 근년중에 자기식 파랑계로 대체된 계획이라 하므로 앞으로 장기간에 걸쳐 파랑 분석을 타던 울산만 파고 특성을 잘 알게 될 것이다. 내항의 피고는 추산치가 2.2M이나 굴절도에 의하였으므로 정확하지는 못하고 수리 모형 실험을 실시한다면 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. BRESTSCHNEIDER, C.L., Revisions in Wa-

- ve Forecasting: Deep and Shallow water, Proc. 6th Conf. Coast. Eng. (1958)
2. WILSON, B.W., Graphical Approach to the Forecasting of Waves in Moving Fetches, Tech. Memo., 73, B.E.B. (1955)
3. WILSON, B.W., Deep Water Wave Generation by Moving Wind Systems, Proc. ASCE, 87—WW3 (1961)
4. 井島武士, 海岸・港灣測量, 森北, 東京 (1961)
5. 井島武士, 海岸工學, 朝倉, 東京 (1970)
6. 豊島修, 現場のための海岸工學 高潮編, 森北, 東京 (1969)
7. 本間仁, 安藝敏一編, 物部水理學, 岩波, 東京 (1962)
8. 수리공식해산, 건설부 (1969)
9. 항만설계기준, 건설부 (1971)
10. 한국동해안의 설계파에 관한 연구, 한국종합기술공사 (1970)
11. 울산항측랑기본계획, 울산특별건설국 (1964)
12. 울산항해상관측결과보고서 66, 67, 68, 69, 70년도 울산특별건설국
13. 해상관측통계(조위 다고 기상) 건설부 (1971)