

〈論 文〉

韓國 西海岸에서의 設計波의 決定

Determination of Design Wave along the West Coast of Korea

金 泰 麟* 鄭 亨 植**
Kim, Tae In Chung, Hyung Sik

Abstract

For determination of the design wave, a method of estimating the design wind speed at sea from the wind records at the nearby weather stations on land is proposed. Along the West Coast, the design wind speed are shown to have two main directions; namely, N through W, and WSW through S. Through the analysis of weather maps, fetches for the main wind directions along the West Coast are determined. The wind speeds at sea are found to have 0.8~0.9 times the wind speed at the stations on land for $U \geq 20$ m/s. The West Coast may be divided into three regions for which fetches are determined uniquely. Design waves with return period of 100 years are determined by the revised S.M.B. method along the West Coast, and show the deep water significant wave heights of 4.4~8.3 meters with wave periods of 8.9~12.0 seconds.

要 旨

西海地域에서 海岸構造物을 爲한 設計波는 沿岸地上測候所의 過去 風速資料로부터 海上風의 設計風速을 算定하고 地域別로 決定되는 吹送域으로부터 波浪豫測모델을 利用하여 決定하는 方法이 提案되었다. 西海에서 設計波를 支配하는 바람은 北西方向(W~N)의 冬期季節風과 南西(WSW~S) 方向의 夏期季節風 및 颶風이며 海上風의 風速은 $U \geq 20$ m/s의 彈風에 對하여 沿岸의 地上風速의 0.8~0.9 倍를 나타낸다. 西海의 海岸地域은 그 位置與件에 따라 세 地域으로 區分할 수 있으며 각각의 地域에 對하여 設計波算定을 爲한 吹送域을 決定할 수 있다. 修正된 S.M.B.法에 의하면 西海地域에서 100年頻度 設計波의 深海有意波高는 4.4m~8.3m, 週期는 8.9秒~12.0秒의 範圍를 보인다.

1. 서 론

우리나라 西海岸은 現在 國土面積의 擴張을 위 해 進行되고 있는 干拓事業의 適地일 뿐 아니라 가까운 將來에 海洋沿近海에 대한 利用도와 海上活動이 증가됨에 따라 防潮堤, 海岸保護 및

利用施設, 港灣, 閘門, 沿岸碇泊 및 貯油施設등 構造物의 建設所要도 크게 증가할 것이다. 이러한 構造物들은 海上의 波浪에 安全하도록 設計되어야 하는데 우리나라와 같이 長期間의 波浪觀測資料가 없는 경우는 바람자료로부터 適切한 波浪豫測모델(Wave Prediction Models)을 利用하여 設計波(Design Wave)를 決定하지 않으면

* 陸軍士官學校 土木工學科 助教授

** 漢陽大學校 產業大學院 教授

안된다.

海上風에 의한 波浪의 豫測모델은 1940年代 이후 實測 波浪 및 氣象資料로부터 理論 및 經驗式이 提示되어 비교적 잘 確立되어 있으며 이를 大別하면 有意波法(Significant Wave Method)과 波浪스펙트럼法(Wave Spectral Method)으로 나눌 수 있다. 널리 쓰이고 있는 有義波法으로는 深海에서의 波浪모델로서 SMB(Svedrup-Munk-Bretschneider)法(1)과 Wilson法(2)이 있으며 淺海(Shallow Water)에서의 모델로서 Bretschneider法(3), 坂本과 井島方法(4) 등이 있다. SMB法 및 Bretschneider法은 安定된 氣象狀態에서 正確도가 높을뿐 아니라 函數關係式이 簡單하여 각각 深海 및 淺海에서의 設計波를 얻는데 널리 利用되고 있다. Wilson法 및 坂本과 井島法은 颶風과 같이 風域의 時間的 空間的 變化가 큰 경우에 波浪을 圖解法 또는 電子計算機에 의해 追跡하는 方法이다.

스펙트럼法の 代表的 예로는PNJ(Pierson-Neuman-James)法(5)과 1968~1969年間 大規模 北海海上觀測事業(The Joint North Sea Wave Project)의 結果로 提案된 JONSWAP法(6)이 있다. 이들 스펙트럼法 모델들은 深海에서 一定한 海域에 一定한 바람이 연속적으로 불어오는 경우에 적용할 수 있다. 근래 Spectral energy의 平衡概念을 利用한 數值海波豫報모델(Numerical Wave Prediction Models)이 開發되어 연속적으로 變化하는 風域에 대해서도 波浪豫測이 可能하게 되었다. (7), (8), (9)

이들 波浪豫測모델을 이용하여 海岸 또는 海洋에 設置되는 永久 또는 半永久 構造物을 위한 設計波를 決定하는 方法은 두 가지로 생각할 수 있다. 첫째 方法은 過去の 氣象資料로부터 波浪豫測모델을 利用하여 波浪資料를 後測(Hindcasting)하고 後測된 波浪資料로부터 統計的 分析을 통해 N年の 設計波를 決定하는 것이다. 둘째 方法은 氣壓 또는 風速, 吹送距離, 吹送時間 등 氣象因子들의 資料로부터 이들 因子들의 N年 設計值를 統計的 分析을 통해 먼저 決定하고 이들 決定된 因子들을 波浪豫測모델에 入力시킴으로써 N年 設計波를 豫測(Forecasting)하는 것이다.

우리나라 西南海沿岸에서의 體系的인 波浪實測 記錄은 매우 貧困하여 1975年 이후 群山, 光陽, 麗水和 釜山の 淺海域에서 制限된 觀測이 이루어지고 있을 뿐이다. 따라서 우리나라 沿岸海域에서 永久 또는 半永久 構造物의 設計波를 決定하기 위해서는 過去の 氣象資料를 利用하지 않으면 안되는데 우리나라 周邊海上에서의 氣壓 및 海上風의 體系的인 觀測記錄은 거의 없는 實情이다. 그러나 우리나라 沿岸地上測候所들에는 1960年 이후 잘 정리된 沿岸地上風의 風速觀測 記錄이 있고 우리나라와 日本, 그리고 中共의 地上測候所들의 氣壓觀測 資料로부터 作成된 周邊海域의 氣象圖가 있으므로 이들 資料로부터 氣象因子들의 N年 設計值를 決定할 수 있다.

本 研究에서는 西海岸의 安定된 季節風에 대하여 海上風과 沿岸地上風과의 關係를 究明하고 바람의 持續時間에 따른 平均風速과 最大風速 간의 關係를 分析하므로써 西海岸에서 設計波의 決定에 必要한 氣象因子들을 決定하는데 重點을 두었다.

2. 西海岸의 氣候特性

우리나라 西海岸에서의 큰 波浪은 주로 冬季 季節風에 의해 發生하는 反面 南海岸에서의 큰 波浪은 颶風의 支配를 현저히 받는다는 것은 잘 알려져 있다. (10, 11)

우리나라 西海地域의 큰 波浪은 주로 두 方向으로 發達한다. 곧 北北西에서 西(NNW~W)사이의 方向으로부터 海岸쪽으로 發達해 오는 波浪과 南에서 西南西(S~WSW)사이의 方向으로부터 海岸쪽으로 發達해 오는 波浪이다. 前者는 10月~翌年 3月間에 부는 冬季 季節風에 의한 것이며 後者는 6月~8月間에 부는 夏季 季節風과 6月~9月間에 南方에서 發生하여 西海를 거쳐 北上하는 颶風에 의한 것이다. 西海의 季節風은 그 氣壓構造가 비교적 安定하며 특히 冬季에는 大陸의 시베리아에 寒冷한 高氣壓이 位置하고 우리나라 東쪽에 低氣壓이 位置하여 강한 北西風이 부는 것이 典型的인 樣相이다.

西海岸으로 進行해 오는 이들 波浪중 颶風에 의한 것보다는 冬季 季節風에 의한 영향이 더

〈表-1〉 西海沿岸 地上測候所에서의 年中最大風速 및 風向

측후소 년도	풍속(m/s) 및 풍향 (발생일자)			
	인	천	서	군
1961	19.5 S SW (4.4)			21.7 S (4.4 / 8.11)
1962	21.7W SW (8.8)*			29.3 S SW (8.2)*
1963	21.7WNW (11.7)			21.3N (10.9)
1964	26.3N NW (3.26)	(자료없음)		25.0 S (8.3)*
1965	17.5NW (1.11)			22.5N NW (4.10)
1966	15.0N NW (11.30)			23.3N (11.25)
1967	15.3 S (2.22)			21.0NW (1.15)
1968	15.0 S SE (4.8)	11.7WNW (2.23)	22.5W (11.9)	22.3N NW (1.14)
1969	20.0NW (12.2)	10.8W (3.21)	23.3SW (8.19)	20.0NW (1.1)
1970	18.3N NW (11.10)	18.3N NW (3.18)	21.0WNW (12.13)	26.5 S (8.31)*
1971	18.3N NW (1.4)	19.2 S (8.11)	21.0WNW (10.11)	30.0 S (8.10)*
1972	22.8NW (3.31)	16.3 S SW (8.25 / 11.29)	31.7WNW (3.31)	26.0 S E (7.26)*
1973	23.3 S (8.29)	16.7 S (8.29)	23.3W (11.16)	25.0 S SW (8.17)
1974	18.3NW (2.25)	18.3 S SW (5.31)	25.3WNW (12.14)	18.2 S E (8.29)
1975	16.0 S SW (7.10)	17.0 S W (9.20)	20.0 E S E (6.23)	19.2N NW (2.21)
1976	17.7WNW (12.18)	15.0 S SW (10.30)	28.0NW (10.28)	19.7N NW (12.8)
1977	18.3WNW (3.24)	20.0W SW (3.24)	21.7NW (4.17)	18.3N NW (2.21)
1978	16.7W SW (12.1)	13.5 S W (12.1)	24.7WNW (12.1)	19.7N NW (12.19)
1979	16.2 S E (12.19)	10.7W (1.21)	27.0WNW (8.17)*	21.0 S (8.17)*
1980	25.7WNW (10.25)	12.0 S (4.18)	31.7WNW (10.25)	23.7N NW (10.25)
1981	18.7WNW (1.2)	10.3WNW (10.9)	23.7NW (2.25)	18.3N NW (10.22)
1982	16.7 S W (12.22)	13.7 S W (11.11)	21.7W (12.22)	18.3N NW (4.8)
1983	21.2 S SW (4.29)	13.7 S (4.26)	24.7W SW (3.17)	19.3 S W (4.28)
1984	16.7 S SW (2.1)	12.0 S SW (6.17)	20.3WNW (10.20)	15.2NW (12.18)

資料 : 中央氣象臺 ; *표는 颶風에 의해 發生한 경우임.

크나(10,11) 構造物의 方向에 따라서는 이들 夏季季節風이나 颶風에 의한 南西方向의 波浪을 考慮하여야 한다.

表 1은 1961年~1984年間 西海沿岸 測候所에서 觀測된 年中最大風速(Annual maximum wind speed : 10分 平均風速의 年中最大値를 말함)과 風向을 보여주고 있다. 별표(*)로 表示한 것은 颶風에 의해 年間最大風速이 發生한 경우이다. 仁川, 瑞山과 群山에서 冬季 및 夏季季節風이 支配하는 反面 西海와 南海의 境界地域인 木浦에서는 夏季季節風과 颶風의 影響이 큰 것을 보여 준다. 이들 年中最大風速은 각 觀測所에서

(表 2)에 보인 바와 같이 두 개의 主風向을 갖는 것을 알 수 있다.

따라서 西海沿岸에 建設되는 構造物의 設計를 위해서는 表 2에 보인 바와 같이 各 觀測所에서 두개의 主風向에 대하여 設計風速을 定하고 이들 地上風速에 該當하는 海上風速으로부터 設計波浪을 豫測할 수 있을 것이다. 表 2에서 主風向 ±22.5°의 바람은 風速의 補正없이 主風向에 包含시키기로 한다. 따라서 다음 節에서는 表 2에 보인 各 觀測所에서의 主風向에 對하여 地上風과 海上風과의 關係를 究明하는데 焦點을 두기로 한다.

〈表-2〉 西海沿岸 測候所에서의 主風向別年 最大風速發生分布

測 候 所	主 風 向 (範圍)	最大風速發生年數(%)	記 錄 年 數
仁 川 (1961~1984)	WNW(NW~W)	13 (54.2%)	24 (100%)
	SW(WSW~SSW)	9 (37.5%)	
	기 타(SE, SSE)	2 (8.3%)	
瑞 山 (1968~1984)	W(WNW~WSW)	5 (29.4%)	17 (100%)
	SW(WSW~SSW)	11 (64.7%)	
	기 타(NNW)	1 (5.9%)	
群 山 (1968~1984)	WNW(NW~W)	14 (82.3%)	17 (100%)
	SW(WSW~SSW)	2 (11.8%)	
	기 타(ESE)	1 (5.9%)	
木 浦 (1961~1984)	NNW(NW~N)	14 (58.3%)	24 (100%)
	S(SSW~SSE)	9 (37.5%)	
	기 타	1 (4.2%)	

3. 海上風과 沿岸地上風과의 관계

우리나라 西海沿岸에는 仁川, 瑞山, 群山, 木浦 測候所와 江華, 牙山, 扶安의 測候分室이 운영되고 있다. 이들 沿岸測候所는 標高 19.7m(端山)~68.9m(仁川)에 位置해 있으며 端山을 途外하고는 海上으로 부터 약 2km~3.5km의 田畝 및 市街地를 지나 떨어져 있다.

海上風이 陸地上으로 불어갈때는 表面粗度(Surface Roughness), 大氣와 表面의 溫度差 및 地形(Topography)의 變化때문에 境界層의 構造 및 風速, 風向等에 變化를 겪게 된다. 地上에서의 바람은 觀測點周圍의 地表面의 形狀 및 障礙物等の 局地的條件의 影響을 顯著하게 받는다. 따라서 沿岸觀測所의 風速資料를 利用하여 周邊海上에서의 波浪이나 力學的 現象等を 究明코자 할때는 먼저 周邊海域의 海上風과 觀測所에서의 地上風과의 關係에 대한 理解가 先行되어야 한다.

地上風과 海上風과의 關係를 導出하기 위하여 海上風의 값은 天氣圖로 부터 豫測하는 方法을 사용하였다. 天氣圖資料로는 1983年 1月 이후부터 中央氣象臺에서 每日 2회(1200Z, 1800Z) 作成하는 補助日氣圖를 使用하였다. 分析을 위해 使用한 天氣圖는 1983年 1月부터 1985年 6月間(2年 6個月) 仁川, 瑞山, 群山, 木浦測候

所에서 主風向에 대하여 큰 風速이 觀測된 날의 12시 또는 18시의 時刻를 사용하였으며 1983年에 20매, 1984年에 17매, 1985年에 10매, 총 47매를 선정하였다. 日氣圖의 氣壓配置로 부터 海上風(海面上 10m에서의 風速)을 決定하는 方法에 대해서는 南基樹(12)등에 의해 상세히 記述되었다. 日氣圖의 等壓線으로 부터 地衡風速 U_g 를 구하고 이에 摩擦에 의한 減小係數 c 를 곱하여 傾度風速 U_{gr} 을 구했으며 氣溫과 海面溫度差에 따른 偏向角 α 를 구하여 海上風의 風速과 風向을 決定하여 天氣圖上에 表示하였다.¹³⁾ 이때 우리나라 周邊海上의 大氣溫度와 水表面溫度의 月別 長期平均値는 交通部水路局의 海洋觀測資料(14)를 利用하였다.

分析期間중 颱風의 影響은 없었으며 天氣圖에 보이는 氣壓配置는 주로 季節風을 나타낸다. 그림 1은 11월~3월간 안정된 偏西風이 부는 때의 半島 週邊의 氣壓配置의 Pattern을 보여주고 있다.

觀測所 周邊 海域의 風速 및 風向이 表示되면 吹送域(Fetch area)을 決定하였다. 吹送域은 風速의 크기가 거의 一定하고(吹送域 平均風速과의 差가 $\pm 2.5\text{m/s}$) 風向이 一定한(吹送域 平均風向 $\pm 22.5^\circ$) 區域으로 定하였다(그림 1 참조). 吹送域이 決定되면 吹送域의 平均風速 U_w 및 平均 風速과 地上測候所에서 觀測된 風速 U_L 및 風向과 比較하였다.

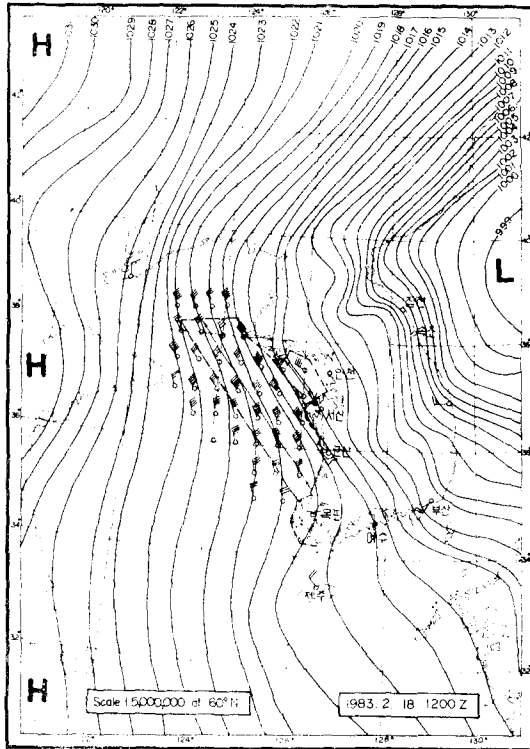


그림 1. 11월~3월간 韓國 周邊에서의 典型的인 氣壓配置(1983. 2. 18 1200z, 資料: 中央氣象臺)

각 天氣圖 상에서 決定된 吹送域은 最小長徑 130km 로 부터 最大長徑 360km 에 이르는 것까지 그 크기가 多樣하다. 이들 吹送域의 分布로부터 設計波의 決定을 위한 地域別 吹送域을 그림 2와 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 그림 2와 그림 3은 비교적 短期間의 資料로부터 얻어졌으나 沿岸地上測候所의 長期間 年間最大風速 資料로부터 決定한 두 개의 主風向(表 2 참조)에 따른 吹送域을 잘 나타내고 있다.

그림 2와 그림 3에서 吹送距離는 最小 130km 에서 最大 280km 에 이른다. 만약 設計風速이 25m/s 다면 이들 吹送距離를 等速度로 進行하는 데 각각 1.5時間 및 3.1時間이 所要된다. 그러면 이 時間동안 吹送域을 形成하는 바람의 風速 및 風向이 一定하게 維持될 것인가가 問題된다. 그러나 西海沿岸測候所의 風速記錄을 보면 大概의 強風은 3時間 내지 12時間內외의 持續期間 동안 連續的으로 불며 이 期間동안 風向은 ± 22.5°內로 큰 變化를 보이지 않는다.

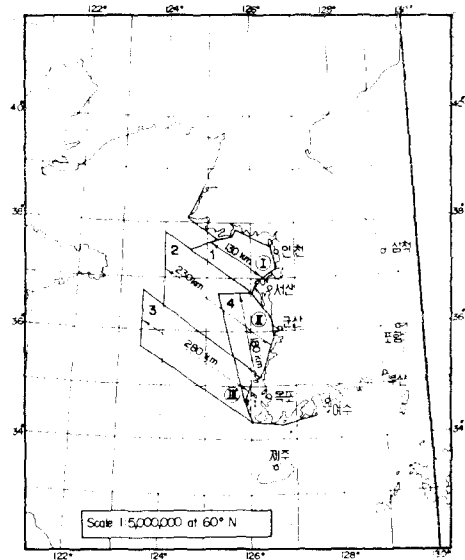


그림 2. 西海岸에서 北西風에 대한 地域別 吹送域 (Fetch)

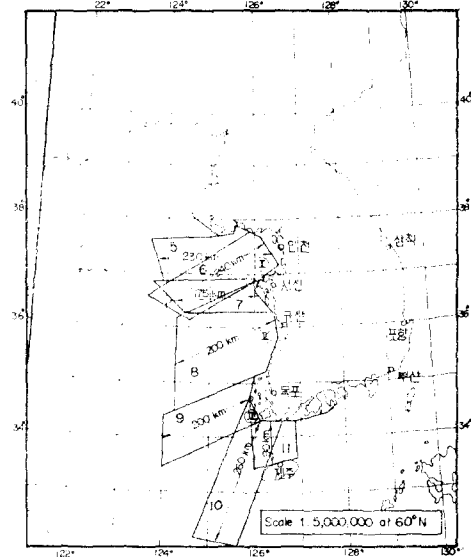


그림 3. 西海岸에서 南西風에 대한 地域別 吹送域 (Fetch)

吹送域의 平均風速 U_w 와 地上測候所 觀測值 U_L 은 각 主風向別로 0.70~0.89의 비교적 높은 相關係數의 값을 보여주었으며, 이는 우리나라 西海岸 地上測候所의 風速資料로부터 海上風의 風速을 推定하고 이를 設計波의 決定에

利用하는 方法의 妥當性을 뒷받침해 준다.

그림 4는 海上風速 U_w 와 地上觀測風速 U_L 의 比를 地上觀測風速 U_L 의 函數로 나타낸 것이다. 風速化 U_w/U_L 은 觀測된 U_L 의 範圍 $3.2\text{m/s} \leq U_L \leq 20.7\text{m/s}$ 에서 最大 2.25(瑞山)로부터 0.78(仁川)까지 U_L 의 增加에 따라 減少하는 傾向을 보인다. 風速比 U_w/U_L 이 1.0이 되는 U_L 의 範圍는 11.0m/s (瑞山) $\leq U_L \leq 14.7\text{m/s}$ (木浦)이다. 群山에서 가장 큰 U_L 값(20.7m/s)의 경우는 그림 4에 나타난 風速보다 더 큰 風速 U_L 에 대한 U_w/U_L 값을 推定하는데 도움을 준다. 이로부터 큰 地上風速 $U_L > 20\text{m/s}$ 에서 風速比는 그림 4에서 보인 下限値보다 약간 작아질 것이다. 安全側의 設計를 爲하여 $U_L \geq 20\text{m/s}$ 의 颶風に 대하여는 U_w/U_L 값을 仁川과 瑞山の 경우 0.8을, 群山과 木浦의 경우 0.9를 使用하기로 한다. 그림 5는 그림 4의 結果를 美國 5大湖의 경우 Vincent(15)가 提案한 값과 比較한 것이다. 一般적으로 $U_L \leq 9.0\text{m/s}$ 의 범위에서는 우리나라 西海沿岸에서의 風速比 U_w/U_L 이 美

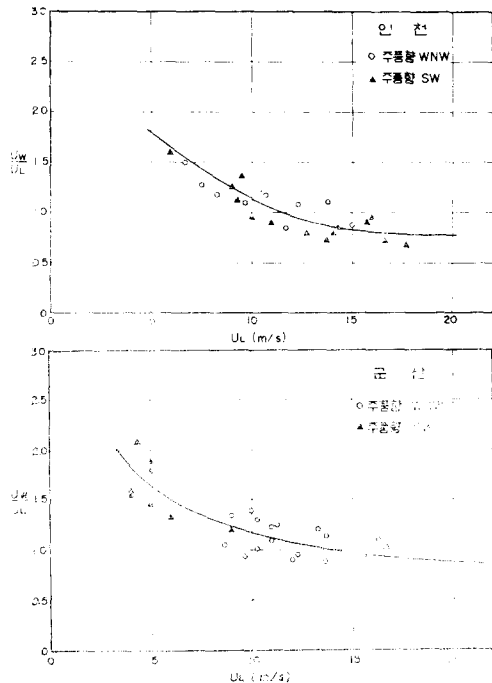


그림 4. 海上風速 U_w 와 沿岸地上 觀測風速 U_L 의 風速比 U_w/U_L 와 U_L 의 관계

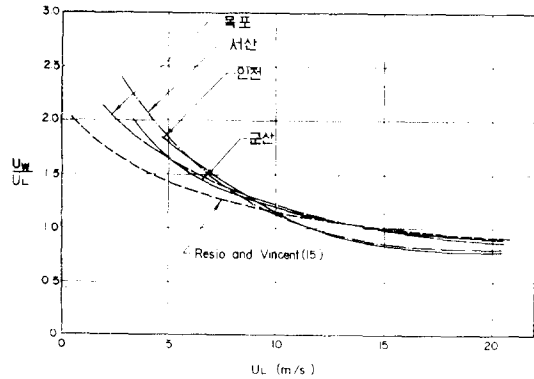


그림 5. 海上風速 U_w 와 沿岸地上 觀測風速 U_L 의 風速比 U_w/U_L 와 U_L 의 관계(우리나라 西海沿岸과 美國 5大湖의 경우)

國 5大湖沿岸에서의 값보다 더 크게 나타나고 있다. $U_L \geq 15.0\text{m/s}$ 의 範圍에서는 仁川과 瑞山에서는 美國 5大湖에서의 값과 비슷하며 群山과 木浦에서는 美國 5大湖에서의 값보다 약간 더 낮은 값을 보이고 있다. 우리나라 沿岸測倒所가 大部分 都心部 周圍의 20m~70m의 언덕 위에 位置해 있는 반면 美國 5大湖의 沿岸觀測所는 湖岸에 隣接한 개활지상의 飛行場에 位置해 있다.

4. 西海沿岸에서의 設計風速

西海沿岸에서 主風向별 設計風速을 決定하기 위하여 먼저 中央氣象臺의 氣象月報 原簿로부터 각 測候所별로 主風向별 年間最大風速(10分 平均風速의 最大値를 말함)의 時系列을 形成하였다. (16) 資料의 年數는 仁川에서 25年(1960~1984), 瑞山에서 17年(1968~1984), 群山에서 17年(1968~1984), 木浦에서 21年(1964~1984)이었다. 1960~1984年間 西海 地域에 影響을 受한 颶風은 30個로서 이중 2개 만이(1962年 Opal 호, 1965年 Harriet 호) 仁川測候所에서 主風向 SW 方向의 年間最大風速을 발생케 하였다. 이들 颶風に 의한 最大風速은 각각 21.7m/s 및 16.2m/s로서 期間중 SW 方向의 最大風速 23.7m/s에는 미치지 못하고 있다. 반면 西海와 南海의 境界라 할 수 있는 木浦에서는 颶風に 의한 南風系列의 最大風速이 발생한 年수가 9回

로서 현저히 많고 또 이들 颱風에 의한 最大風速이 25年 期間의 最大風速이 된다.

그러나 木浦에서의 主風向 NNW 方向으로는 태풍에 의한 年 最大風速이 發生된 적이 없으며 季節風의 支配를 받고 있다. 이로볼때 태풍은 西海地域에 주로 큰 南風(W~S)을 發生케 하며

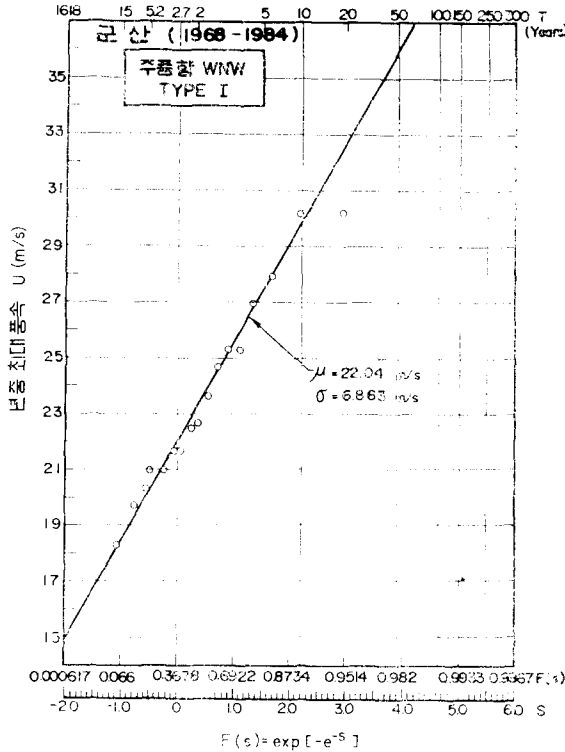


그림 6. (a) TYPE I 確率紙上에서의 西海沿岸 地上 測候所 年最大 風速資料

木浦地域에서 南風方向의 設計風速을 支配하고 木浦以北의 地域에서는 그 영향이 季節風에 비하여 弱한 것을 알 수 있다.

年中 最大風速의 確率分布式으로는 二重指數函數型(Double exponential form)과 指數函數型(Exponential form)을 들 수 있다. Gumbel(17)은 前者를 TYPE I, 前者를 TYPE II 라고 分類하였다.

그림 6은 仁川에서 主風向 WNW의 年中 最大風速 資料를 TYPE I 과 TYPE II 確率紙上에 나타낸 것을 보여주고 있다.

表 3은 과거 年中最大風速 資料로 부터 最小自乘法(Least squares method)으로 구한 Parameter의 값을 利用하여 再現期間 N=20年, 50年, 100年, 200年, 250年, 500年, 1,000年인 風速 U_N 을 TYPE I 과 TYPE II 確率모델에 의해 豫測한 값을 比較하고 있다. 一般的으로 TYPE II

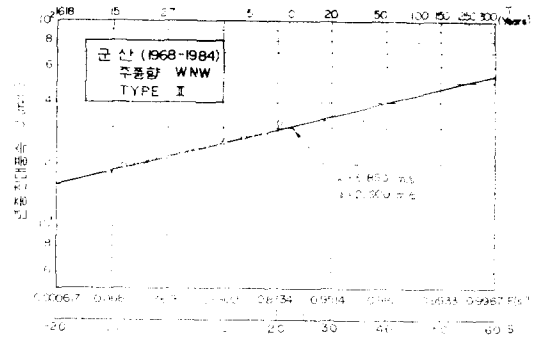


그림 6. (b) TYPE II 確率紙上에서의 西海 沿岸 地上 測候所 年最大 風速資料

<표-3> TYPE I 과 TYPE II 確率모델에 의한 再現期間別 年最大風速(Yearly maximum wind speed)豫測值 (a) TYPE I (單位 : m/s)

觀測所	主風向	再現期間 N (years)						
		20	50	100	200	250	500	1000
仁川	WNW	24.14	26.60	28.44	30.27	30.86	32.69	34.52
	SW	22.84	25.20	26.96	28.72	29.28	31.04	32.79
瑞山	W	17.16	19.00	20.38	21.75	22.19	23.56	24.93
	SW	20.95	23.81	25.96	28.09	28.78	30.91	33.04
群山	WNW	31.20	34.04	36.16	38.29	38.96	41.08	43.20
	SW	25.34	28.12	30.95	32.77	33.68	36.50	39.31
木浦	NNW	23.23	24.80	25.97	27.14	27.52	28.68	29.85
	S	28.22	31.76	34.42	37.07	37.92	40.56	43.20

(b) TYPE II

(單位 : m/s)

觀測所	主風向	再現期間 N (years)							
		20	50	100	200	250	500	1000	
仁川	WNW	24.85	28.42	31.43	34.74	35.88	39.66	43.83	
	SW	23.19	26.52	29.32	32.40	33.46	36.97	40.85	
瑞山	W	17.71	20.44	22.76	25.32	26.21	29.16	32.44	
	SW	22.73	28.07	32.89	38.50	40.51	47.41	55.49	
群山	WNW	33.76	38.67	42.81	47.37	48.94	54.15	59.91	
	SW	28.65	35.89	42.48	50.25	53.04	62.72	74.17	
木浦	NNW	23.60	25.61	27.23	28.95	29.52	31.38	33.35	
	S	29.26	34.84	39.71	45.24	47.17	53.73	61.19	

確率모델이 TYPE I 確率모델 보다도 큰 風速을 豫測하고 있으며 特히 現在有間 N이 커질수록 그 차이는 매우 커진다. 우리나라의 경우 年最大風速資料가 TYPE I 과 TYPE II 어느 確率모델에 더 符合하는가는 좀더 오랜 觀測資料가 蓄積된 후 結論을 내려야 할 것이다.

5. 持續時間에 따른 平均風速

前節의 極值確率모델 (Probability models of extremes)에 의해 얻는 再現期間 N年인 年最大風速 U_N 는 10分間 平均風速의 年最大值를 意味한다. 海上에서 波浪이 크게 發達하는 경우는 充分한 吹送時間(Duration)동안 바람이 一定한 方向으로 持續的으로 불어 올 때이다. 一般的으로 風速은 最大風速의 發生時刻을 前後로 時間에 따라 減少 變化하는 傾向을 보인다. 따라서 波浪의 豫測을 할 때는 年 10分 最大風速 U_N 보다도 吹送時間동안의 平均風速 U_t 를 使用하는 것이 妥當하다. (18)

西海沿岸의 4個 測候所에서 10分最大風速 U_N 과 持續時間別 平均風速 U_t 와의 關係를 究明하기 爲하여 年中最大風速 觀測值중에서 仁川에서 12個(WNW 方向 6개, SW 方向 6개), 瑞山, 群山 및 木浦에서 각 10個(各 主方向別로 5個)씩의 경우를 擇하여 이들 風速들이 發生한 時刻 前後의 連續 自己記錄紙를 各 測候所로부터 蒐集하였다. 自己 風速記錄紙에서 每 10分마다 기록된 接點의 數를 읽고 最大風速이 發生한 區間

을 찾으면 이 區間的 風速이 10分最大風速 U_{10} 에 해당한다. 隣接한 두 時間區間(20分)의 接點의 數들의 合이 最大가 되는 組를 찾으며 이 20分間的 平均風速이 U_{20} 이 된다. 이와같은 요령으로 任意의 10의 倍數인 時間 t 의 平均風速 U_t 를 구할 수 있다.

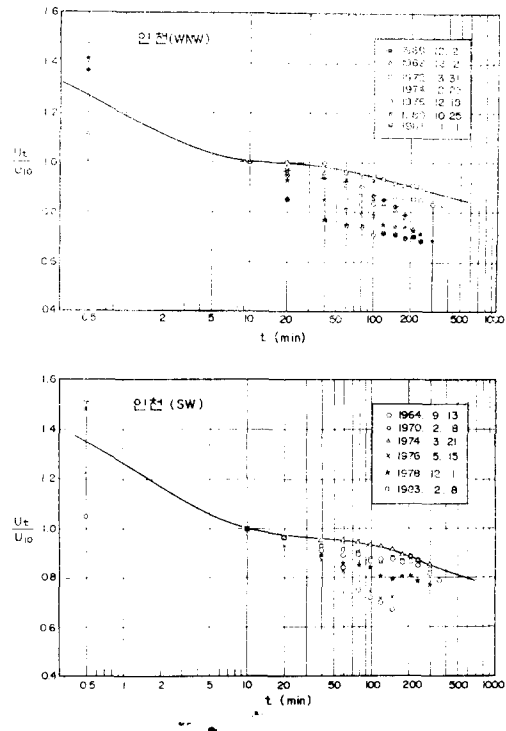


그림 7. 西海 沿岸測候所에서 最大 10分 平均風速 U_{10} 에 대한 持續時間 t 에 따른 平均風速 U_t 의 예.

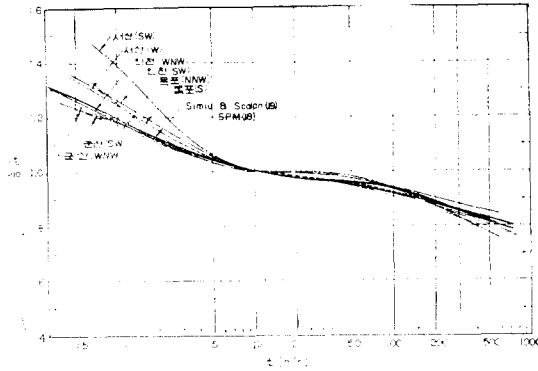


그림 8. 西海 沿岸測候所에서 最大 10分平均風速 U_{10} 에 대한 持續時間

各 觀測所別 分析結果의 예는 그림 7에 주어져 있다. 그림 7에서 持續時間 $t=0.5$ 分(30sec)에 該當하는 平均風速 $U_t=0.5$ 는 觀測된 瞬間最大風速으로 取한 것이다. 그림 7에서 보는 바와 같이 $U_t/U_{10} \sim t$ 의 관계는 각각의 風速事象에 따라 약간씩 다른 傾向을 보여주고 있으나 一般적으로 持續期間 t 의 增加에 따라 U_t/U_{10} 의 比는 逆指數函數的으로 減少하는 傾向을 보인다. 仁川에서 主風向別로 分析된 資料들의 上限線으로 그은 것은 그림에 나타낸 바와 같다. 이들 曲線을 따라 구한 平均風速 U_t 는 設計를 위해서는 安全側이 될 것이다. 그림 8은 각 觀測所別 $U_t/U_{10} \sim t$ 관계의 上限線들을 함께 表示한 것이다. 그림의 굵은 실선은 美國 5大湖의 資料로부터 Simiu와 Scalp(19)에 의해 定理된 曲線을 나타낸다.

그림 8에서 보인 바와 같이 $t > 5$ 分에서 우리나라 沿岸測候所들의 $U_t/U_{10} \sim t$ 관계 曲線은 Simiu와 Scalp에 의해 定理된 曲線에 近接한다. $t \leq 5$ 分 以內에서의 U_t/U_{10} 比가 Simiu와 Scalp의 曲線과 差異를 보이는 것은 瞬間最大風速의 持續期間을 30秒로 取했으나 仁川(SW), 瑞山(W, SW), 木浦(S)에서의 순간최대풍속은 30秒보다 大體로 더 짧을 수 있다는 것을 示唆해 준다.

6. 地域別 設計波의 決定

3節에서 天氣圖의 分析 結果 얻은 西海岸의

地域 區分과 地域別 吹送域은 그림 2와 그림 3에 보인 바와 같다. 이들 吹送域과 表 3에 주어진 設計風速을 이용하여 地域別로 設計波를 決定하는 方法을 要約하면 表 4와 같다. 예로 海州灣으로부터 牙山灣에 이르는 海岸地域에 對한 設計波를 決定코자 할때는 仁川測候所의 風速資料를 利用하고 두개의 主風向(WNW, SW)에 對해 考慮하되 主風向 WNW에 對해서는 그림 2와 그림 3에서 吹送域 1과 5를, 主風向 SW에 대해서는 吹送域 6을 利用한다.

最近 美陸軍工兵團(U.S. Army Corps of Engineers)에서는 Hasselmann(8)의 Parametric model의 스펙트럼 特性을 導入한 修正된 SMB法을 提案하였다. (18) 이 修正모델은 波浪의 內部 發達 mechanism을 考慮한 스펙트럼法의 長點을 導入함으로서 有義波法의 短點을 補完한 것이다. 우리나라 西海는 2節에서 살펴본 바와 같이 비교적 安定된 季節風의 支配를 받으며 沿岸測候所의 長期 바람 觀測資料로부터 海上風의 값을 算

<表 4> 西海岸地域의 地域區分과 設計風速 및 吹送域의 選定方法

地域	範圍	觀測所風速資料	吹送域 (그림 2, 3)
I	해 주 만~아 산 만	인천(WNW, SW)	1, 5, 6
	아 산 만~태안반도	인천(WNW) 서산(W)	1, 5 7
II	태안반도~남 포	서산(W, SW)	7, 8
	남 포~함 평 만	군산(WNW, SW)	2, 8
III	함 평 만~임 자 도	목포(NNW)	3, 4
	임 자 도~진 도	목포(NNW, S)	3, 9, 10
	진 도~소 안 도	목포(S)	11

定할 수 있으므로 正常狀態(Steady-State)에서 精度가 높은 修正된 SMB法 및 Bretschneider法을 使用할 수 있다. 美陸軍工兵團에 依해 提案된 修正된 SMB法의 관계식은 다음과 같다.

$$\frac{gH_{m0}}{U_A^2} = 1.6 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 0.2857 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{gt_{min}}{U_A} = 68.8 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (5)$$

여기서 H_{m0} =Spectral 有意波高(Spectral Significant Wave Height)

T_m =波浪스펙트럼의 peak 에 該當하는 週期

F =吹送距離(Fetch Length)

t_{min} =주어진 吹送距離 F 內에서 완전히 風波가 發達하는데 所要되는 最小 吹送時間

U_A =摩擦因數(Wind-Stress Factor)

이며 有意波週期 T_S 와 스펙트럼의 peak 週期 T_m 과는 다음과 같은 관계가 있다.

$$T_a = 0.95 T_m \dots \dots \dots (6)$$

式(3)~式(5)에서 摩擦因數 U_A 는 海上에서 海上風과 海上面과의 摩擦效果(Drag Effect)를 考慮한 調整된 風速을 말하며 海面上 10m 에서의 海上風速 U 와 다음과 같은 관계가 있다.

$$U_A = 0.71 U^{1.23} (U \text{ in m/s}) \dots \dots \dots (7)$$

本 研究의 結果를 利用하여 修正된 SMB 모델로부터 設計波를 決定하는 경우 그 節次를 要約하면 다음과 같다.

(1) 設計하고자 하는 構造物의 位置에 따라 그림 2 와 그림 3 에 보인 地域 區分中 어느 地域에 屬하는가를 判斷하고 表 4 에서 風速資料를 利用할 測候所와 吹送域(Fetch Area)을 選定하여 吹送距離를 F 로 한다.

(2) 表 3 으로부터 設計再現期間 N 年인 該當測候所에서의 主風向別 設計風速을 읽고 이를

U_L 로 하여 그림 5 로부터 該當測候所의 海上風速과 地上風速의 比 U_w/U_L 의 값을 읽어 海上風速 U_w 을 얻는다.

(3) 式 (7)로부터 摩擦因數 U_A 를 구한다.

(4) 式 (5)로부터 主風向別로 주어진 吹送距離에 대하여 最小吹送時間 t_{min} 을 구한다.

(5) t_{min} 에 해당하는 平均風速比 U_i/U_w 를 그림 8로부터 읽어 U_i 값을 얻는다.

(6) U_i 를 새로운 U_w 로하여 (3)~(5)項의 과정을 反復한다. 이때 U_i 의 값의 變化가 어느 範圍(에 1%)보다 작으면 그때의 t_{min} 값과 U_i 값을 각각 最終的인 持續時間과 그때의 平均海上風速 U_w 의 값으로 취할 수 있다.

(7) 最終 U_w 값으로부터 式(7)로부터 摩擦因數 U_A 를 구하고 이 U_A 값을 利用하여 式(3)과 式(4)로부터 Spectral 有意波高 H_m 및 週期 T_m 을 계산한다.

(8) 式 (6)으로 부터 有意波의 週期 T_S 를 구한다.

이상의 過程에서 決定된 波浪은 深海에서의 設計波浪이다. 이 深海波浪은 淺海域이나 海岸에 位置한 構造物에 이르기까지 進行하는 동안 淺水(Shoaling), 掘折(Refraction), 廻折(Diffraction), 또는 碎波(Wave Breaking)되면서 變形된다. 따라서 深海波浪으로부터 構造物 前面에서

<表-5> 西海沿岸에서 S.M.B.法에 의한 地域別 再現期間別 深海 設計 有意波高(H) 및 週期(T)

地 域	主 風 向	吹送距離 F (km)	再 現 期 間 N (年)				
			50	100	250	500	1000
I (해주만 ~아산만)	WNW	130	$H= 4.4^m$ $T= 8.7^s$	$H= 4.8^m$ $T= 8.9^s$	$H= 5.4^m$ $T= 9.2^s$	$H=5.8^m$ $T= 9.5^s$	$H= 6.2^m$ $T= 9.5^s$
	SW	240	$H= 5.4^m$ $T=10.3^s$	$H= 5.9^m$ $T=10.6^s$	$H= 6.6^m$ $T=10.9^s$	$H= 7.1^m$ $T=11.2^s$	$H= 7.6^m$ $T=11.5^s$
II (태안반도 ~함평만)	WNW	230	$H= 7.3^m$ $T=11.0^s$	$H= 7.9^m$ $T=11.3^s$	$H= 8.3^m$ $T=11.7^s$	$H= 9.3^m$ $T=11.9^s$	$H= 9.7^m$ $T=12.2^s$
	SW	200	$H= 5.7^m$ $T=10.2^s$	$H= 6.5^m$ $T=10.6^s$	$H= 7.0^m$ $T=10.9^s$	$H= 8.0^m$ $T=11.3^s$	$H= 8.8^m$ $T=11.7^s$
III (임자도~진도)	NNW	260	$H= 5.7^m$ $T=10.7^s$	$H= 6.0^m$ $T=10.9^s$	$H= 6.5^m$ $T=11.2^s$	$H= 6.8^m$ $T=11.4^s$	$H= 7.2^m$ $T=11.6^s$
	S	260	$H= 7.5^m$ $T=11.6^s$	$H= 8.3^m$ $T=12.0^s$	$H= 9.4^m$ $T=11.5^s$	$H=10.3^m$ $T=12.9^s$	$H=11.1^m$ $T=13.2^s$

의 波浪條件을 구하는 과정이 뒤따라야 한다. 또한 경우에 따라서는 本節에서 구한 有意波 (Significant Wave)보다도 더 發生確率이 낮은 波浪을 設計波로서 採擇하는 경우도 있다.

表 5는 本 研究에서 提案된 方法으로 計算한 地域別 設計 有意波浪을 再現期間 별로 나타낸 것이다. 表 5에서 設計風速은 表 3의 TYPE I 確率分布로 부터 얻은 값을 使用하였으며, 地上 風速과 海上風速의 比 U_w/U_L 의 값은 $U_L \geq 25m/s$ 에 대하여 仁川과 群山에서 0.8, 木浦에서 0.84를 使用하였다.

表 5에 보인 바와 같이 再現期間 $N=100$ 年에 該當하는 有意波浪의 深海波高는 仁川 地域 沿岸의 4.4m로 부터 木浦 地域 沿岸의 8.3m의 범위를 보인다. 이에 相應하는 週期는 8.9秒~12.0秒의 範圍이다.

7. 結 論

韓國 西海岸에서 設計波浪은 季節風의 支配를 크게 받으며 冬季의 偏西風과 夏季의 南東風의 두 主風向을 따라 發生하는 것으로 分析되었다. 海上風의 設計風速은 沿岸 地上測候所의 風速資料로부터 極值確率모델을 利用하여 決定하는 方法이 提案되었다. 西海域의 海上風速은 $U_L \geq 20m/s$ 에 대하여 沿岸 地上風速의 0.8~0.9倍를 나타낸다. 修正된 S.M.B.法에 의한 西海沿岸에서의 深海 設計有意波高는 4.4m~8.3m, 週期는 8.9sec.~12.0sec의 範圍를 보인다. S.M.B.法을 使用하여 設計波를 決定한 西海地域의 構造物들은 큰 颶風통과시 發生하는 너울(Swell)에 대해 安全한가 검査할 需要가 있다.

本 研究는 海上에서의 바람 및 波浪觀測 資料가 극히 制限되어 있는 韓國 西海岸에서 永久 또는 半永久 構造物의 建設을 위한 設計波를 合理的으로 決定하기 위한 一試圖로서 이루어진 것이다. 따라서 本 研究에서 提案된 結果는 今後 海上에서의 氣象 및 波浪資料가 蓄積되는 대로 補充되어야 할 것이다.

感謝의 글

本 研究는 農水産部の 支援에 따라 農業振興 公社에서 實施한 干拓技術 開發事業의 一環으로

遂行되었으며 이에 謝意를 표하는 바이다.

參 考 文 獻

- 1) Svedrup, H.V., and Munk, W.H., "Wind, sea, and Swell: Theory of Relations for Forecasting", Publication No. 601, U.S. Navy Hydrographic Office, Washington, D. C., 1947.
- 2) Wilson, B.W. "Deep Water Wave Generations by Moving Wind Systems," Journal of the Waterways and Harbors Division, ASCE, Vol. 87, No. WW2, 1962, pp.113~141.
- 3) Bretschneider, C.L., "Revisions in Wave Forecasting; Deep and Shallow Water," Proceedings of the 6th Conference on Coastal Engineering, ASCE, Council of Wave Research, 1958.
- 4) Ijima, L., and Tang, F.L.W., "Numerical Calculation of Wind Wave in Shallow Water," Proceedings of the 10th Conference on Coastal Engineering, ASCE, Tokyo, Vol. 2, 1966, pp.38~45.
- 5) Pierson, W.J. J., Neuman, G., and James, R.W., "Practical Methods for Observing and Forecasting Ocean Waves by Means of Wave Spectra and Statistics, Publication No. 603, U.S. Navy Hgdographic Office, Washington, D.C., 1955.
- 6) Hasselmann, K., Barnett, T.P., and Bowns, E. et. al., "Measurements of Wind-Wave Growth and Swell Decay During the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)," Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg, 1973, 95pp.
- 7) Gelci, R.H. Caxale, and Vassals, J., "La Methode des Densites Spectro-angulaires," Prevision de la Haule, Bulletin d' Information du Comite Central d'Océanographie et d'Etudes des Cotes, K(8), 1957.
- 8) Hasselmann, K., Ross, D.B., Muller, P., and

- Sell, W., "A *Parametrical Wave Prediction Model*," *Journal of Physical Oceanography*, 1976, 6 : 201~228.
- 9) Wang, H. and Yang, W.C., "Wave Spectral Transformation Measurements at Sylt, North Sea." *Coastal Engineering*, Vol. 5, 1981, pp. 1~34.
- 10) 安守漢, 設計波 決定을 위한 調査研究報, 告書, 서울大學校 工科大學 生産技術研究所, 港灣廳研究調査事業, 1976, pp. 1~8.
- 11) 鄭亨植, 金泰麟, 崔廷凡, 防潮堤技術開發研究 陸軍士官學校 花郎臺研究所, 農業振興公社 干拓技術 開發事業, 1984, pp. 41~49.
- 12) 南基樹, 朴庸向, 波浪豫報 모델을 위한 研究, 韓國科學技術院 海洋研究所 報告書, No. BSPE 00035-53 1, 제 4 장, 1981.
- 13) Bijvoet, H.C., "A New Overlay for the Determination of the Surface Wind over Sea from Surface Weather Charts," Koninklijk Netherlands Meteorologisch Instituut, Medelelingen en Verhandelingen, No. 7, 1957.
- 14) 大韓民國 水路局, 漢國海洋環境團, 書誌 第 1451 號, 1982, 41p.
- 15) Resio, D.T., and Vincent, C.L., "Estimation of Winds Over Great Lakes," *Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division*, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 103, No. WW2, p. 265~283, 1977.
- 16) 鄭亨植, 金泰麟, 崔廷凡, 防潮堤 斷面 研究, 陸軍士官學校 花郎臺研究所, 農業振興公社 干拓技術 開發事業, 1985, pp. 83~104.
- 17) Gumbel, E., *Statistics of Extremes*, Columbia University Press, New York, 1958.
- 18) U.S. Army Corps of Engineers, *Shore Protection Manual* Vol. 1, 2, Chapter 3, 1984.
- 19) Simiu, E., and Scalan, R.N., *Wind Effect on Structures: An Introduction to Wind Engineering*, New York, Wiley, p. 62, 1978.