

防波堤 建設의 作業限界의 作業日數 推定에 關한 基礎的 研究

柳 青 魯* . 李 明 浩** . 崔 石 官*

1. 序 論

最近 海岸綜合開發 및 港灣施設의 擴張에 따라 海岸 및 港灣構造物의 建設공사가 날로 增大되고 있다. 이러한 構造物의 建設에 있어서 合理的인 施工計劃을 樹立하기 위해서는 氣象, 海象 및 工事의 種類에 따른 作業可能日數의 推定이 중요하다. 이 作業日數는 工法의 決定, 工事費의 積算, 工事期間의 算定 등에 있어서 重要的 要素임에도 불구하고 지금까지도 陸上의 土木工事 등에서 使用하고 있는 月間作業日數 20日을 海域別(外港, 內港), 工種別 區分없이 海上作業에도 適用하도록 規定해 놓고 있는 實情이다.

이에 本 研究에서는 대규모 港灣構造物 築造工事였던 釜山港 第3段階開發事業 - 南 防波堤 築造工事(總延長 700m, 平均水深 25m)의 工事記錄日誌와 당시의 波浪觀測報告書, 氣象月報 등을 利用하여 外海에 開放된 港의 防波堤建設作業에 미치는 影響을 影響因子別로 解析·整理하여 作業限界條件을 抽出하였다. 이 條件을 基礎로 해서, 作業可能確率圖를 作成하여, 매일 매일의 作業條件 決定 및 海域의 海上特性을 고려한 月間作業可能日數 推定에 適用하는 등 港灣構造物의 合理的인 施工計劃樹立을 위한 基礎資料를 整理하고자 한 것이다.

2. 海上工事의 作業限界

2.1 影響因子 및 解析方法

海上工事의 主要要因중 外海에 면한 釜山港 防波堤工事現場의 作業狀況과 氣象·海象特性을 고려하면 式(1)와 같은 要因이 重要하다고 생각된다.

$$F(W) = f(H, T, U_a, r, \alpha, \theta) \quad (1)$$

여기서, $F(W)$ 는 海上作業限界, U_a 는 風速, r 는 降雨量, H 는 波高, T 는 週期, α 는 風向, θ 는 波向이다.

式(1)의 要因의 影響을 檢討하기 위해서, 現場工事記錄日誌(1987.7.1 - 1988.6.30)로부터 作業한 날, 作業못한 날, 작업을 중단한 날(遷移日)로 區分하고, 이 作業條件과 同一期間中の 海象 및 氣象資料를 聯關시켜 統計解析하는 것으로부터 作業限界를 整理하여 從來의 結果와 比較·檢討한 다 (海運港灣廳, 1984, 1988; 中央氣象臺, 1982).

2.2 影響因子에 따른 作業限界

釜山港 南 防波堤는 그림 1에서 보는 바와같이 鳥島(Jodo)에서부터 釜山港 進入航路쪽으로 700m 를 建設하는 混成式防波堤로서 1986年 8月에 着工하여 1989年 11月 竣工하였다. 이중 主要 海上工事期間에 해당하는 1年間('87.7.1 - '88.6.30)의 作業期間中, 作業可能日數는 192日, 作業不可能日數는 132日, 作業中斷日(遷移日數)은 42日 등이었다. 이때 使用한 主要裝備는 Table 1 과 같다.

* 부산수산대학교 해양공학과 (Department of Ocean Engineering, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea)

** 한국 해운항만청 (Korea Maritime and Port Administration)

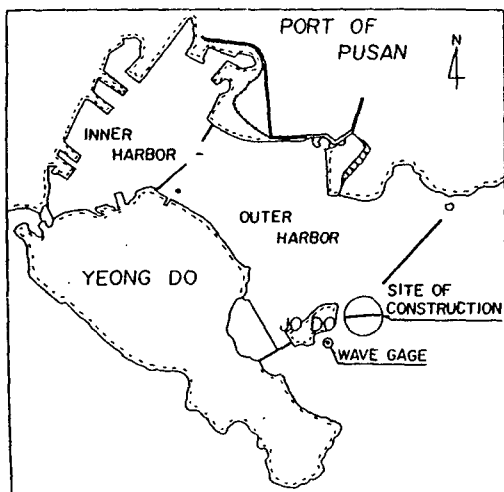


Fig.1. Location of breakwater construction site at Pusan Port.

Table 2. Main equipment used in the construction

Operations	Main equipment	Dimension	Quantity
Dredging	Grab dredger	28m ³	2
Q.R.R	Tug boat	320-800 HP	10
dropping	Barge	300-1000 t	12
& finish	Setting barge	500 t	4
	Back hoe	0.7 m ³	7
	Diver's ship	185 HP	3
Cassion manufacture	Mixer truck	6 m ³	10
	Crane	50 t	3
	Pump car	70 m ³ /hr	1
Caisson towing	Tug boat	750-3200 HP	3
Caisson setting	Tug boat	400-800 HP	3
	Floating crane	150 t	1
	Anchor barge	60 t	1
	Submergible pump		8
	Self movable		3
Caisson sand fill	barge with grab	600 m ³	
Cap concrete pouring	Floating barge	120 t	1
	Tug boat	300 HP	1
	Mixer truck	6 m ³	4

Q.R.R : Quarry Run Rock

(1) 波高, 週期 및 風速의 影響

作業限界를 調査하기 위해서 有義波高($H_{1/3}$), 週期($T_{1/3}$) 및 風速(U_a)의 結合日數分布 및 作業日數分布를 整理하였다. 여기서, 釜山港工事時 이용한 作業裝備를 그대로 利用하는 경우, 外海에 먼한 防波堤建設의 作業限界는 波高 1 m, 日平均風速이 6 m/sec 로 생각된다.

(2) 風向 · 波向의 影響

釜山港의 主要風向 · 波向을 整理하여 作業條件別 風向·波向分布를 제시하였다. 이것으로부터 분석한 結果, 風向인 경우에는 北東風系에 의한 影響이 크게 나타났고, 波向인 경우에는 E, SE方向에 의한 影響이 크게 나타났다. 이것은 工事現場의 外海에 대한 開放方向에 깊은 關係를 가지는 것으로 생각된다.

(3) 降雨의 影響

月別降雨量과 月別作業日數를 比較해 보면, 觀測期間中の 降雨量 1,391mm의 65%를 차지하는 6,7,8月の 集中豪雨의 期間에도 作業與否에는 그다지 큰 影響을 미치지 않는 氣溫의 影響과 더불어 作業能率의 低下에 크게 影響을 미쳤다. 이것은 海上工事의 경우, 陸上工事보다 降雨의 影響이 적은 것으로 생각할 수 있다.

2.3 異常波浪時 作業限界의 解析

(1) 決定論的 方法

여기서는 異常波浪時의 作業限界를 解析하기 위해, 高波浪時에도 불구하고 作業이 可能했던 날과 作業途中 中斷한 날 그리고 海象이 靜穩($H_{1/3} < 0.5m$)함에도 불구하고 作業이 不可能했던 날의 資料를 얻어 그의 特性을 論議한다.

1) 高波浪時 作業可能日

測定期間동안의 高波浪日 124日중 作業日數는 26日 이었다. 分析結果 作業可能日의 日平均風速은 3.45m/sec로서 釜山港의 日平均風速 3.8m/sec보다 약하며, 바람에 의한 作業限界 $U_a > 6m$ 보다 약한 風速을 보이는 氣象條件 이었으며, 이때의 波高는 $0.5 < H_{1/3} < 1.0m$ 로 作業限界波高보다 작은 값을 나타냈다.

2) 遷移日

遷移日數는 42日/年 이었으며, 이때의 氣象 및 海象 分析結果는 日平均風速이 4.2m/sec로 나타났고, 波高는 靜穩에서부터 2.0m 까지 다양하게 分布하였다. 高波浪記錄日中 作業日과 海象靜穩時 作業不可日의 中間에 該當하는 日平均風速과 最大風速을 나타내고 있다.

3) 海象靜穩時($H_{1/3}$) 作業不可能日

作業不可日數 132日中 54日이 波浪觀測結果 靜穩日 ($H_{1/3} < 0.5m$; $H_{1/3}$ =有義波高) 이었다. 日平均風速은 4.57m/sec로 나타났으며, 分析結果 暴風·颱風 以後의 作業待期日 및 swell 등 長週期性 波浪에 의한 作業環境의 惡化가 가장 많았다. 특히 氣象特報(wave warning) 發令時에도 靜穩으로 觀測된 日數가 18日이나 觀測되었는데 이는 氣象豫報와 實際 海象과의 差異에 起因된 것이라 할 수 있다. 또한 人爲的인 條件으로 分類한 名節·休務日 등도 17日 포함되어 있었다.

(2) 確率論的 方法

作業限界에 미치는 影響因子 중 波高, 週期, 平均風速에 관한 三角確率圖를 利用하여 作業可能確率를 整理하여 나타낸 것이 Fig.2, Fig.3 이다. Fig.2 은 波高를 主要因子로 한 경우이고, Fig.3 은 風速을 主要因子로 한 것이다. 또한 各各의 座標軸의 scale은 fully generated sea 狀態를 考慮하여 決定한 것이다. 이 그림의 왼쪽하단부와 같이 氣象 및 海象의 靜穩에도 不拘하고 作業可能確率($P(Wd)$; Wd =作業可能日)이 100%가 되지 않는 이유는 storm surge 以後의 作業待期時間, 또는 暴風前·後의 Swell 등 長週期性波浪에 의한 作業環境의 惡化로 생각된다.

이 確率圖는 氣象 및 海象條件에 의한 作業可能確率의 推算, 建設對象海域의 工事可能日數의 合理的 推定, 工事計劃 등의 合理化를 위한 有用한 指針이 될 것이며, 工事現場에서 每日의 作業計劃에도 直接 利用할 수 있다고 생각된다.

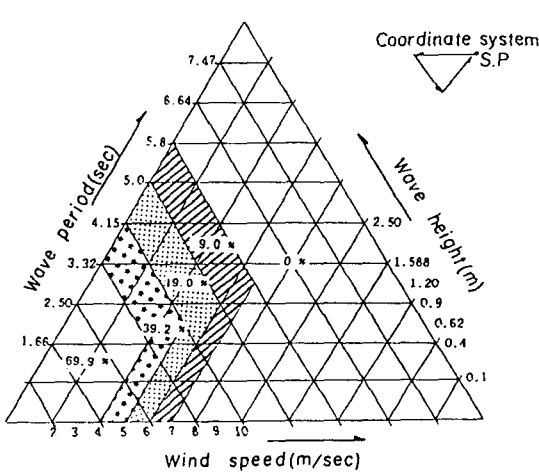


Fig.2. Criteria of construction works due to wave height dominately.

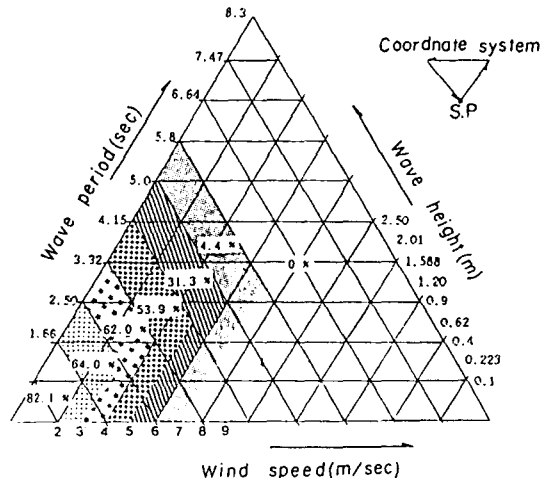


Fig.3. Criteria of construction works due to wind speed dominately.

3. 作業可能日數의 推定

먼저, 대상으로 하는 海域의 年間 有義波高·週期 및 日平均風速의 分布特性을 정리한 다음, 앞에서 제시한 三角確率圖 이용하면 作業可能確率을 고려한 年間 또는 月間 作業可能日數를 計算할 수 있다. 實例로 釜山港 觀測資料에 의한 月間 作業可能日數를 計算하여 나타낸 것이 Table 2 이다. Table 2 에서는 日平均 有義波高 및 日平均風速에 의한 作業可能日數를 나타냈고, 또한 月平均 作業日數를 구하였는데, 釜山港의 경우 16日 程度로 나타났다.

Table 2. An example of calculation of monthly workable days for Pusan Port

	Significant wave height (m)				Mean wind speed (m/sec)					
	below 0.5	0.5 -1.0	1.0 -1.5	above 1.5	below 2.0	2.0 -3.0	3.0 -4.0	4.0 -5.0	5.0 -6.0	above 6.0
days/year	242	89	19	16	29	74	91	89	48	35
P(Wd)	68.6	27.0	10.5	0	79.3	64.9	62.6	53.9	31.2	2.9
Wd/year	166	24	2	0	23	48	57	48	15	1
Wd/Month	16				16					

韓國 主要港灣의 氣象 및 海象資料는 波浪觀測所와 測候所에서 觀測한 資料 (水産廳, 1984 ; 海運港灣廳, 1984, 1986, 1988 ; 中央氣象臺, 1982) 를 使用하여, 上述했던 作業可能確率圖로부터 月間 作業可能日數를 推定해 보았다. 內港工事의 경우에는 防波堤 등 外廓施設로 차폐되어 있는 靜穩水域($H_{1/3} < 0.5$ m) 으로 볼 수 있으므로 作業可能確率은 68.6 % 程度이고, 月間 作業可能日數는 20.8 日로 推算되었다.

Table 3 는 外海에 면한 工事의 月間 作業日數 推定結果인 盧(1969)의 研究成果와 比較하여 나타내었다. 外海에 면한 現場의 工事인 경우, 規定된 月間 作業日數 20日보다는 다소 적은 값을 나타내는 경우도 있다는 것을 알 수 있다. 또한 盧의 결과와 本 研究의 결과와도 약간의 差가 있는 現場이 있다.

Table 3. Monthly workable days of major ports calculated by using P(Wd) of Pusan Port

Methods	Yellow Sea		South Sea				East Sea		
	Kun-san	Yo-su	Pu-san	Ul-san	Po-hang	Che-ju	Sam-chok	Tong-hae	Sok-cho
Present study									
$H_{1/3}$	20.6	19.8	17.3	15.1	12.5	13.2	15.8	12.4	16.6
U_a	17.1	16.8	16.2	19.7	18.8	16.5	24.1	-	19.1
Ro (1969)	-	16.5	17.3	21.4	19.4	17.4	-	-	-

이와같이 本 研究의 결과와 盧(1969)의 결과와의 차이는, 盧의 경우에 있어서는 氣象條件만을 影響因子로 하여 作業日數를 計算한 것이 根本的인 原因이라고 생각된다. 그리고 本 研究의 方法에 있어서도, 波高를 指標로 한 경우(Fig. 2)와 風速을 指標로 한 경우(Fig. 3)에 그의 推算結果에 多少의 差가 나타나는 경우도 있다. 이러한 경우에는 海象條件의 影響과 現在 韓國에 使用하고

있는 海上工事 施工裝備 및 技術 등을 考慮하고 防波堤工事와 같이 比較的 外海에 먼한 工事現場에 는 月平均 作業可能日數를 月 20 日로 固定하여 全地域에 適用하는 것은 改善하지 않으면 안되는 問題라고 생각된다. 더구나, 陸上工事의 作業日數計算方法(例로는 盧, 1969)을 그대로 海上工事의 경우에 擴張하여 適用하는 것도 海上條件에 의한 作業不可能日이 자주 發生하므로 問題가 있다. 더 구나 工事에의 使用裝備·技術開發에 의한 作業日數 增大效果의 豫測 및 解析도 重要하다고 생각된다.

4. 結論

本 研究에서는 釜山港 南 防波堤 築造工事의 工事記錄日誌와 당시의 波浪觀測報告書, 氣象 月報 등을 利用하여 海上工事의 作業限界條件과 作業可能確率圖를 提案하였다. 이것을 使用하 여 우리나라의 主要港灣에 대해 月刊作業日數를 計算하였다. 그 結果, 從來의 適用했던 月刊作業日 數 20日是 現在의 技術水準에서는 無理하게 過多하다는 것을 指摘하였다. 또, 防波堤建設時의 作業 日數推定을 위해서는 海象條件 및 氣象條件을 同時에 考慮해야 함을 強調하고 그의 改善을 위해 基本資料를 作成하였다.

그러나 釜山港 工事資料를 이용한 本 研究의 結果는 地域性, 現場性 및 施工方法과 技術에 따라 變化한다. 그의 特徵을 科明 또는 整理하고 汎用性이 있는 作業可能日數推算法의 開發이 此後의 課題이다.

5. 參考文獻

- 大韓土木學會(1983) : 土木工學 Handbook, PP. 3.12-3.13
- 建設部(1976) : 土木工事의 計劃一般, 技術指導書 50, PP. 49-54.
- 盧熙潤(1969) : 建設 機械化施工과 設計上의 諸 問題點,
大韓土木學會誌, Vol. 17, No.1, PP. 54-69.
- 水産廳(1984) : 海域別(東海, 南海) 深海波 推定 報告書, PP. 221-224.
- 中央氣象臺(1982) : 韓國氣候表, PP. 1-368.
- 海運港灣廳(1984) : 波浪資料分析報告書, PP. 1-431.
- 海運港灣廳(1988) : 全國 港灣 設計波 推算報告書 (淺海波 및 淺海波圖), PP. 3-7.