

多變量解析法을 利用한 機關故障分析

尹 錫 勳

釜山水產大學
(1987년 10월 31일 접수)

An Analysis of Engine Failures Using Multivariate Data Analysis Method

Suck Hun YOON

National Fisheries University of Pusan
(Received October 31, 1987)

The basis of all approaches to improve reliability of marine engines exists in analyzing the field data of troubles and failures on marine engines.

This paper analyses the data of troubles and failures on marine engines by Principal Component Analysis Method, one of Multivariate Data Analysis Method. The total number of data investigated is 211 and the observation period is 9 years.

The analyzed factors are categorized among five groups respectively; electric-automatic control equipments, auxiliary machinery, pipings, refrigerators-air conditioners, and main engine. The failures in main engine are discovered by a definite fact of disorder, on the contrary, the failures in auxiliary machinery, refrigerators and air conditioners are discovered by sensible judgement of the operators.

緒 論

船舶이란 陸地와 隔리된 海上에서 運航되는 特殊性을 가지고 있으므로 항상 安全性이 最大限 確保되어야 하며, 이는 乘組員의 人命安全에 直結되는 問題이기도 하다. 또한 運航費 節減과 自動化 추세에 맞추어 乘組員의 數가 激減되어 機關室無人自動化船이 急增하고 있는 현 시점에서 機關의 信賴性和 安全性을 높이는 問題는 매우 重要한 과제라 할 수 있다. 한편, 이러한 時代的인 추세에도 불구하고 우리나라의 機關事故率은 아직도 매우 높은 편이며¹⁾ 이는 船舶의 安全性에 관한 問題일 뿐만 아니라 運航損失, 修理費의 加重 등으로 經濟的인 면에서도 막대한 損失을 가져 오고 있다. 船舶의 機關室은 여러 種類의 機器들이 서로 연결되어 相互 補完的인 關係에서 各各의 技能을 원만히 發揮할 때 全體的인 目的을 達成할 수 있는 綜合的인 시스템이다. 그러므로 各機器의 安全性과 信賴性도 重要하지만 全體的인 시스템으로서의 信賴性 또한 매우 重要하다고 할 수 있다.

그동안 이에 관한 研究現況을 살펴 보면 이웃나라 日本에서는 오래 전부터 關心을 가지고 研究調査活動이 활발히 이루어져 왔다^{2)~7)}. 그러나 우리나라에서는 그러한 研究가 거의 全無한 狀態로 海洋警察隊, 海難審判院 等, 關聯機關에서 船舶事故의 統計表 等을 作成하여 왔지만 이는 극히 基礎的인 資料로서 體系的인 研究活動이라 할 수 없다.

따라서 本稿에서는 이러한 研究의 일환으로 國內 2個 船舶會社에 報告된 故障報告書를 中心으로 1978년부터 1986년까지 船舶에서 發生한 211件의 重要機關故障을 故障原因, 故障機器, 故障現狀, 異狀檢出手段, 修理方法 等으로 分類하고 이를 分析하기 위한 電算프로그램을 作成하여 各因子的 相關性, 重要故障原因 및 對策을 分析·考察하였다.

따라서 本稿에서는 이러한 研究의 일환으로 國內 2個 船舶會社에 報告된 故障報告書를 中心으로 1978년부터 1986년까지 船舶에서 發生한 211件의 重要機關故障을 故障原因, 故障機器, 故障現狀, 異狀檢出手段, 修理方法 等으로 分類하고 이를 分析하기 위한 電算프로그램을 作成하여 各因子的 相關性, 重要故障原因 및 對策을 分析·考察하였다.

分析 方法

많은 種類의 變量이 있어 그 相互간의 關係를 규명하여 將來를 예측하든가 또는 變量의 分類, 合成을 결정하고자 하는 技法인 多變量解析法에는 그 利用方法에 따라 重回歸分析, 主成分分析, 因子分析, 數量化分析 등 여러가지 方法이 있으나 機關故障分析에는 主成分分析法이 가장 適合하므로 本 研究에서는 主成分分析法을 使用하였다. 이는 p 個의 成分 $x_1, x_2, x_i \dots x_p$ 를 가진 情報를 式(1)과 같이 m 個의 主成分 $z_1, z_2, \dots z_m$ 으로 要約하는 것이다.

$$\left. \begin{aligned} z_1 &= l_{11}x_1 + l_{12}x_2 + \dots + l_{1p}x_p = \sum_{i=1}^p l_{1i}x_i \\ z_2 &= l_{21}x_1 + l_{22}x_2 + \dots + l_{2p}x_p = \sum_{i=1}^p l_{2i}x_i \\ z_k &= l_{k1}x_1 + l_{k2}x_2 + \dots + l_{kp}x_p = \sum_{i=1}^p l_{ki}x_i \\ z_m &= l_{m1}x_1 + l_{m2}x_2 + \dots + l_{mp}x_p = \sum_{i=1}^p l_{mi}x_i \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\text{단, } l_{k1}^2 + l_{k2}^2 + \dots + l_{kp}^2 = \sum_{i=1}^p l_{ki}^2 = 1 \quad (2)$$

여기서 m 個의 主成分을 구하기 위한 係數 $\{l_{ki}\}$ 은 成分 $x_1, x_2, \dots x_i, \dots x_p$ 의 相關行列인 $R(r_{ij})$ 의 固有值(λ_i)를 구하고 이를 크기順으로 m 個($\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_k > \dots > \lambda_m$) 취하여 對應하는 固有벡터를 구하면 $\{l_{ki}\}$ 가 얻어진다.

主成分의 數 m 을 決定하는데 必要的인 累積寄與率 v_m 과 主成分 z_k 와 成分 x_i 와의 相關을 表示하는 因子負荷量 α_{ki} 은 다음과 같다.

$$v_m = \frac{\sum_{k=1}^m \lambda_k}{p} \quad (3)$$

$$\alpha_{ki} = \sqrt{\lambda_k} l_{ki} \quad (4)$$

여기서 因子負荷量은 -1에서 +1 사이에 分布하며, 그 絕對值가 클수록 z_k 와 x_i 사이에 높은 相關이 있음을 나타낸다.

結果 및 考察

1. 主成分의 解析

Table 1은 成分別 數量을 나타내는 表이고, Table 2는 Table 1의 數量에 대한 相關行列表를 作成하여 JACOBI METHOD로 固有值를 求해서 式(4)에 의하여 因子負荷量을 구한 값이다. 主成分(z_m)의 數를 選擇하는 데는 累積寄與率의 값이 基準이 되며 一般

Table 1. Quantity of each Component

番號 (i)	成 分 (x_i)	數量
1	主 機 關	58
2	發 電 機 關	39
3	過 給 機	11
4	軸 系 · 推 進 器	11
5	보 일 터	22
6	펌 프 · 淸 淨 機	9
7	冷 凍 機 · 에 어 콘	4
8	熱 交 換 器 · 造 水 器	6
9	配 管 系	14
10	甲 板 機 械	8
11	電氣 · 自 動 制 御 機 器	24
12	其 他	5
13	破 損 · 折 損	82
14	發 熱 · 燒 損	47
15	腐 食 · 摩 耗 · 閉 塞	31
16	漏 洩 · 混 濁	27
17	作 動 不 良	24
18	設 計 · 製 作 不 良	9
19	材 質 不 良	8
20	摩 耗 · 腐 食	45
21	組 立 不 良	17
22	誤 操 作	48
23	振 動 · 疲 勞	14
24	過 負 荷 · 熱 應 力	7
25	絕 緣 · 接 觸 不 良	18
26	燃 料 · 潤 滑 油 不 良	28
27	不 明 · 其 他	17
28	異 常 檢 出 手 段	11
29	過 熱 · 發 熱	11
30	漏 洩 · 混 濁	49
31	破 損 · 龜 裂	6
32	計 器 類	29
	振 動 · 異 音	30

尹錫勳

33		作動不良	34	37	方法	主機減速後修理	1
34		警報・트립	33	38		正常運轉中修理	60
35		檢査時發見	19	39		入港後修理	45
36	修理	主機停止後修理	60	40		入渠・陸上修理	45

Table 2. Factor loading

番號(i)	成分(x_i)	主成分(z_m)				
		z_1	z_2	z_3	z_4	
1	故障機器	主機關	0.51	-0.34	-0.43	-0.32
2		發電機關	0.42	0.06	0.16	0.22
3		過給機	0.22	-0.13	-0.15	0.28
4		軸系・推進器	0.22	0.1	0.07	-0.01
5		보일러	0.31	-0.05	0.25	0.15
6		펌프・清淨機	0.2	-0.03	-0.01	-0.11
7		冷凍機・에어콘	0.13	-0.13	-0.25	0.21
8		熱交換器・造水器	0.18	-0.08	0.27	0
9		配管系	0.27	-0.16	0.43	-0.15
10		甲板機械	0.2	0.03	0.03	0.18
11		電氣・自動制御機器	0.36	0.75	-0.1	-0.18
12		其他	0.16	-0.02	0.03	0.13
13	故障現狀	破損・折損	0.63	-0.28	0	0.14
14		發熱・燒損	0.47	0.58	-0.04	0.17
15		腐食・摩耗・閉塞	0.38	-0.18	-0.27	0.18
16		漏洩・混濁	0.36	-0.19	0.54	-0.1
17		作動不良	0.34	0.1	-0.19	-0.62
18	故障原因	設計・製作不良	0.2	-0.08	-0.06	-0.28
19		材質不良	0.2	0.1	-0.04	0.14
20		摩耗・腐食	0.47	-0.03	0.27	-0.15
21		組立不良	0.29	-0.06	0.06	0
22		誤操作	0.47	0	0.25	0.18
23		振動・疲勞	0.27	-0.13	-0.09	0.13
24		過負荷・熱應力	0.18	-0.08	0.03	0.07
25		絶緣・接觸不良	0.29	0.71	-0.13	-0.17
26		燃料・油滑油不良	0.36	-0.29	-0.43	0.03
27		不明・其他	0.29	-0.05	-0.1	0

多變量解析法을 이용한 機關故障分析

28	異 狀 檢 出 手 段	過熱·發熱	0.22	0.15	-0.07	0.06
29		漏洩·混濁	0.49	-0.26	0.54	-0.2
30		破損·龜裂	0.18	0.02	0.12	0.2
31		計器類	0.38	-0.13	-0.13	0.06
32		振動·異音	0.38	-0.19	-0.21	0.35
33		作動不良	0.4	0.06	-0.27	-0.53
34		警報·트립	0.4	0.55	0.04	0.11
35		檢査時發見	0.29	-0.11	-0.16	0.21
36	修 理 方 法	主機停止後修理	0.54	-0.32	-0.22	-0.35
37		主機減速後修理	0.07	-0.1	-0.16	0.01
38		正常運轉中修理	0.54	0.02	0.45	-0.15
39		入港後修理	0.47	0.42	0	0.22
40		入渠·陸上修理	0.47	-0.05	-0.24	0.36
固有值 (λ_i)			5.0	2.63	2.24	1.96
累積寄與率 (%)			12.5	19.08	24.68	29.58

的으로 累積寄與率 40%까지의 主成分을 取하는데 本稿에서는 成分이 40가지나 되므로 上記의 條件을 만족하려면 너무 많은 수의 主成分을 取해야 하나 解析結果 第4主成分까지가 가장 重要的 結果를 나타내고 있으므로 편의상 第4主成分(z_4)까지만 取하였다.

Table 2에 의하면, 第1主成分(z_1)은 모든 成分의 因子負荷量 符號가 같으므로 各 成分의 出現率을 의미하며 第2主成分(z_2)은 各 成分의 因子負荷量을 크기 順으로 배열하여 보면 十方向에서 一方向으로 電氣·自動制御機器, 軸系, 主機關의 順으로 되므로 故障機器를 電氣系와 機械系로 나누는 軸이라 할 수 있고 또 十方向은 損傷의 程度가 작고 一方向은 損傷의 程度가 크므로 損傷의 程度를 나타내는 軸으로도 解析할 수 있다. 第3主成分(z_3)은 十方向에 正常運轉中 修理, 一方向에 主機減速後 修理, 入渠·陸上 修理의 成分이 位置하므로 修理方法을 나타내는 軸이며, 第4主成分(z_4)은 十方向에 振動·異音, 檢査時發見 等の 成分이 位置하고 一方向에 作動不良, 漏洩·混濁의 成分이 位置하므로 이는 異狀檢出手段을 나타내는 軸이라 할 수 있다. 즉 十方向에 가까울수록 運轉員의 感覺的 判斷에 의하여, 그리고 一方向에 가까울수록 機器의 確實한 異狀現狀에 의하여 異狀狀態를 檢出하게 된다.

各 主成分의 解析結果를 要約하면 Table 3과 같다.

Table 3. Analysis results of principal components

主成分(z_m)	解 析	+ 方 向	- 方 向
第1主成分(z_1)	出 現 率	多	
第2主成分(z_2)	故障機器 損傷程度	電氣系 小	機械系 大
第3主成分(z_3)	修理方法	輕 修 理	重 修 理
第4主成分(z_4)	異狀檢出手段	感覺的 判斷	機器의 確實한 異狀

2. 各 成分의 그룹化 및 分析結果

Fig. 1은 第2, 3, 4主成分을 z_2, z_3, z_4 軸으로 하는 3次元 그래프로서 各 成分의 位置에 따라 5個의 그룹으로 나눌 수 있다. 本 그래프에는 各 成分의 因子負荷量을 가만 點으로 表示하였으며 아라비아숫자는 各 成分의 번호이다. 이를 그룹化하여 보면 G1 그룹은 電氣·自動制御機器, G2 그룹이 槓機類, G3 그룹은 配管系, G4 그룹은 過給機·冷凍機·에어콘類, 그리고 G5 그룹은 主機關系를 나타낸다.

Fig. 2는 第2, 3主成分을 各各 z_2, z_3 軸으로 하는 2次元 그래프이다. Fig. 2에 의하면 G1(電氣·自動制御機器)은 發熱·燒損 等の 故障現狀이 많으며 故障原因은 絶緣·接觸不良, 異狀檢出手段은 경보·트립, 그리고 修理는 주로 入港後에 하는 것을 알 수 있다. 그

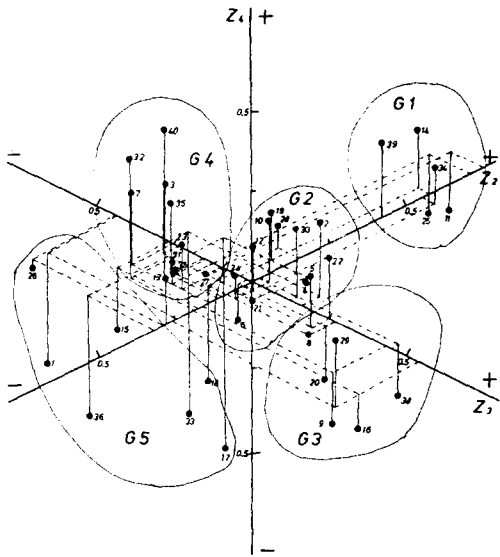


Fig. 1. Results of Principal Component Analysis (z_2, z_3, z_4 axis).

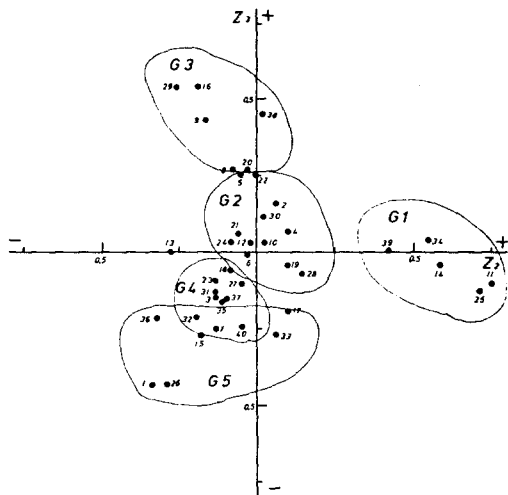


Fig. 2. Results of Principal Component Analysis (z_2, z_3 axis).

리고 G3(配管系)는 漏洩·混濁의 故障現狀이 많고 故障原因은 摩耗·腐食 等으로, 修理는 正常運轉中에 주로 하였다. 또 G5(主機關係)는 燃料·潤滑油不良에 의한 故障이 많으며 振動·異音에 의하여 異狀을 檢出하는 경우가 많았다.

Fig. 3은 第2,3主成分을 各各 z_2, z_3 軸上에 表示한 그래프로서 G5는 機器異狀의 確實한 事實에 의하여 異狀이 檢知되는 傾向이 매우 강하며 G3 및 G1도 다소 이러한 傾向이 있는 반면 G2와 G4는 運轉員의

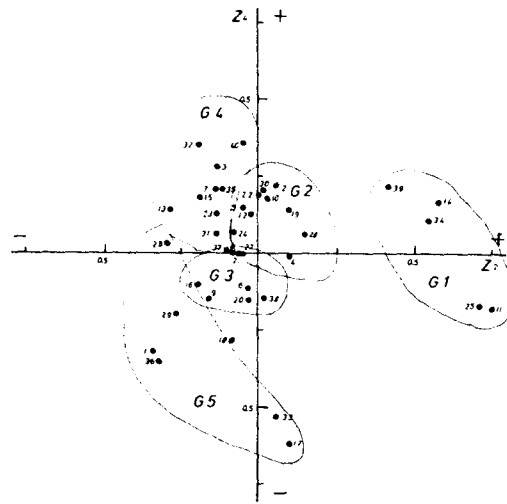


Fig. 3. Results of Principal Component Analysis (z_2, z_4 axis).

感覺的 判斷에 의하여 異狀이 檢知되는 傾向이 강하였다.

Fig. 4는 第3,4主成分을 各各 z_3, z_4 軸으로 하는 그래프이다.

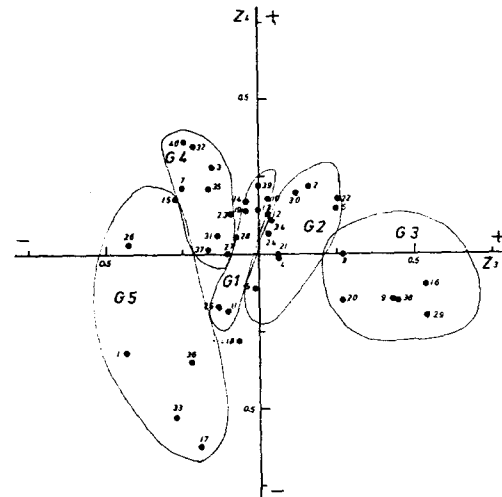


Fig. 4. Results of Principal Component Analysis (z_3, z_4 axis).

要 約

國內 2個 船舶會社로부터 1978년부터 1986년까지의 重要 機關故障에 관한 資料를 主成分分析

多變量解析法을 이용한 機關故障分析

法에 의하여 分析한 本 研究의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 分析結果는 各成分의 因子負荷量 크기에 따라 電氣·自動制御機器, 補機類, 配管系, 過給機·冷凍機類, 主機關系의 5그룹으로 나눌 수 있다.
2. 機器의 故障現狀을 發熱·燒損, 故障原因은 腐食·摩耗 및 誤操作, 그리고 機器異狀檢出의 手段은 漏洩·混濁 등이 매우 높은 比重을 차지하고 있다.
3. 主機關의 故障原因은 燃料·潤滑油 不良이 가장 큰 比重을 차지하며 주로 振動·異音에 의하여 異狀을 檢出하는 경우가 많다.
4. 電氣·自動制御機器 故障은 피해가 比較的 적으며 機械系의 故障피해는 큰 편이다.
5. 主機關 等은 機器異狀의 確實한 事實에 의하여 異狀이 檢知되는 傾向이 매우 강하며 補機類, 過給機·冷凍機·에어콘 等은 運轉員의 감각적 판단에 의하여 異狀이 檢知되는 경향이 강하다.

參 考 文 獻

1. 中央海難審判院 書記課(1985): 海難審判事例集

(Ⅱ). 中央海難審判院, 7-11.

2. 橋本 武·金子 仁·佐田昌弘(1980): 船用機關のサブシステムに関する故障統計と保全性評價. 日本船用機關學會誌 15(7), 66-74.
3. 村山雄二郎·玉木恕乎·黑須顯二·稱坂富士夫·菊地正晃(1979): 船用機關故障のデータバンクとアベイラビリティ向上に関する應用. 日本船用機關學會誌 14(12), 7-19.
4. 青木雄二郎·長棟宣生·草野忠夫·中島修一(1980): 機關部信頼性評價について. 日本船用機關學會誌 15(4), 7-18.
5. 池田一貞·橋本武·藤富信之(1979): 船舶の機關故障に関する多變量解析について. 日本船用機關學會誌 14(4), 42-51.
6. 玉木恕乎·黑須顯二·鹿子嶋直嗣·飯島晃(1978): 運航障害を生じた事故の分析. 日本船用機關學會誌 13(4), 40-50.
7. シンポジウム(1979): 機關の故障診斷. 日本船用機關學會誌 14(11), 5-45.