

## 개념설계 단계에서 총 건조비를 최소로 하는 생산지향적 설계 적용 방법

봉 현 수\*

### Methods of Incorporating Design for Production Considerations into Concept Design Investigations

by

H.S. Bong\*

#### 요 약

여러해 전부터 선박의 생산실적이나 생산성 관련 자료를 기록하고 보완하는 작업을 꾸준히 개선토록 노력해온 결과중 중요한 것 하나는, 선박의 여러가지 설계 검토과정에서 충분히 활용할 수 있는 합축성 있고 믿음만한 형태의 생산정보를 제공해줄 수 있게 되었다는 것이라고 말 할 수 있겠다.

이러한 자료들은 생산계획상 각 단계(stage)에서의 작업량, 예상재료비와 인건비의 산출등이 포함될 수 있으며, 선박이나 해상구조물의 전반적인 설계방법론(design methodology)을 개선코자 한다면 '생산지향적 설계(Design for Production)'의 근간이 되는 선박 건조전략(build strategy), 구매정책(purchasing policy)과 생산기술(production technology)에 대한 폭넓은 지식이 한데 어우러져야 한다.

최근에는 CIMS의 일부분에서 보는 바와 같은 경영관리, 설계 및 생산지원 시스템의 도입으로 이와 같은 설계 프로세스의 추진을 가능케하고 있다. 이와 병행하여 설계를 지원하기 위한 전산기술, 특히 대화형 화상처리기술(interactive graphics)의 발달은 설계자가 선박의 형상이나 구조 배치를 여러가지로 변화시켜 가면서 눈으로 즉시 확인할 수 있도록 설계자의 능력을 배가시키는데 크게 기여하고 있다.

여러가지의 설계안(alternative design arrangement)을 신속히 만들어내고 이를 즉시 검토 평가할 수 있는 능력을 초기설계 단계에서 가질 수 있다면 이는 분명히 큰 장점일 것이며, 더구나 설계초기 단계에 생산관련인자를 설계에서 고려할 수 있다면 이는 더욱 두드

러진 발전일 것이다. 생산공법과 관련생산 비용을 정확히 반영한 각 가지의 설계안을 짧은 시간내에 검토하고 생산소요 비용을 산출하여 비교하므로써, 수주계약단계에서 실제적인 생산공법과 신뢰성있는 생산실적 자료를 기준으로 하여 총 건조비(total production cost)를 최소로 하는 최적의 설계를 선택할 수 있도록 해 줄 것이다.

이제 이와 같은 새로운 설계도구(design tool)를 제공해 주므로써 초기설계에 각종 생산관련 정보나 지식 및 실적자료가 반영가능토록 발전되었다. 본 논문은 영국의 뉴카슬 대학교(Univ. of Newcastle upon Tyne)에서 위에 언급한 특징들을 반영하여 새로운 선박구조 설계 방법을 개발한 연구결과를 보여주고 있다. 본 설계연구는 5단계로 구분되는데;

(1) 컴퓨터 그래픽스를 이용하고 생산정보 데이터베이스와 연결시켜 구조형상(geometry)을 정의하고 구조부재 치수(scantling) 계산/결정

(2) 블럭 분할(block division) 및 강제 배치(panel arrangement)의 확정을 위해 생산기술 및 건조방식에 대한 정보 제공

(3) 상기 (1) 및 (2)를 활용하여 아래 각 생산 단계에서의 생산작업 분석(work content assessment)

- a) 생산 준비 단계(Preparation)
- b) 가공 조립 단계(Fabrication/Assembly)
- c) 탑재 단계(Erection)

(4) 각각의 설계(안)에 대하여 재료비(material cost), 인건비(labour cost) 및 오버헤드 비용(overhead cost)을 산출키 위한 조선소의 생산시설 및 각종 품셈 정보를

(5) 총 건조 비용(total production cost)을 산출하여 각각의 설계안을 비교 검토.

접수일자 : 1990년 7월 25일

\* 정회원, 대우조선공업(주)

본 설계 방식을 산적화물선(Bulk Carrier) 설계에 적용하여 구조배치(structural geometry), 표준화의 정도(levels of standardisation), 구조생산공법(structural topology) 등의 변화에 따른 설계 결과의 민감도를 분석(sensitivity studies)하였다. 전산장비는 설계자의 대화형 접근을 용이하도록 하기 위해 VAX의 화상 처리 장치를 이용하여 각 설계안에 대한 구조형상과 작업 분석, 건조비 현황 등을 제시할 수 있도록 하였다.

결론적으로 본 연구는 설계초기단계에서 상세한 건조비 모델(detailed production cost model)을 대화형 화상 처리장치에 접합시켜 이를 이용하여 여러가지 설계안의 도출과 비교검토를 신속히 처리할 수 있도록 함은 물론, 각종 생산 실적정보를 초기설계에 반영하는 최초의 시도라고 믿으며, 생산지향적(Design for Production) 최적설계분야의 발전에 많은 도움이 되기를 기대해 마지 않는다. 참고로 본 시스템의 설계 적용결과를 부록에 요약 소개하며, 상세한 내용은 참고문헌 [4] 또는 [7]을 참조 요망한다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Okumoto, Y. Takeda, and K. Hiyoko, "Modern Hull Structure Design System", 'COSMOS' ICCAS '85, Trieste, September, 1985.
- [2] J.B. Caldwell, "Design for Production" *WEG-EMT*, University of Newcastle, September, 1978.
- [3] A.D. Hewitt, "Production Oriented Design of Ship Structures", Ph. D. Thesis, University of Newcastle, September 1976.
- [4] H.S. Bong, "Cost-Effective Ship Structural Design", M. Phil Thesis, University of Newcastle, June 1987.
- [5] I. Winkle and D. Baird, "Towards More Effective Structural Design Through Synthesis and Optimisation of Relative Fabrication Costs", *Trans. RINA*, 1986.
- [6] J.B. Caldwell and A.D. Hewitt, "Towards Cost-Effective Design of Ship Structures", *Symposium on Structural Design and Fabrication in Shipbuilding*, London, November 1975.
- [7] H.S. Bong, W. Hills and J.B. Caldwell, "Methods of Incorporating Design for Production Considerations into Concept Design Investiga-

tions", *Proceedings of 1988 SNAME Spring Meeting* —13th STAR Symposium and 3rd International Marine Systems Design Conference (IMSDC)—, Pittsburgh, June 1988. (also shown in *Journal of Ship Production*, Vol. 6, No. 2, SNAME, May 1990)

부 록

설계 적용 및 결과 검토

적용선종 : 150K TDW Bulk Carrier로서 주요 요목은 다음과 같다.

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| Length B.P              | 252.0m |
| Breadth Moulded         | 43.2m  |
| Depth Moulded           | 24.0m  |
| Design draft            | 16.5m  |
| Scantling draft (B-60%) | 17.5m  |
| Block coefficient       | 0.853  |

Fig. 1은 초기설계 Midship Section의 형상을 plate seam과 block butt와 함께 graphics로 나타낸 것이다. 이 설계 system에서 계산된 scantling과 실적선의 것을 서로 비교한 결과 Table 1에서 보듯이 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

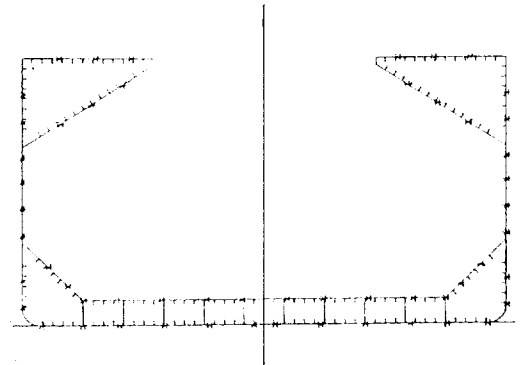


Fig. 1 Preliminary midship section

Sensitivity Studies

본 CAD System의 큰 장점 중의 하나는 설계자로부터 여러가지 설계 변경에 대한 효과, 즉 구조형상, 구조재료의 종류, 생산인자 등이 중량은 물론 특히 총 건조비에 미치는 영향을 파악해 볼 수 있도록 했다는 것으로 본 논문에서는 4가지의 example을 소개했다. (여타 example들은 참고문헌 [4] 참조)

**Table 1** Calculated and 'As-Built' scantlings

| Part                    | Member     | Scantling(mm)     |                   |
|-------------------------|------------|-------------------|-------------------|
|                         |            | Calculated        | Built-ship        |
| Main deck               | Plate      | 30.0 HT           | 30.0 DH           |
|                         | Longl      | 300*30 FB         | 300*30 AH FB      |
| Sheerstrake             | Plate      | 30.0 HT           | 30.0 EH           |
|                         | Longl      | 300*30 FB         | 300*30 AH FB      |
| Topside tank sloped     | Plate upp  | 18.5 MT           | 18.0 AH           |
|                         | mid        | 14.0              | 14.0 AH           |
|                         | low1       | 15.0              | 14.0              |
|                         | low2       | 15.0              | 14.0              |
|                         | Longl upp  | 400*30 FB         | 350*30 AH FB      |
|                         | mid        | 500*150*11.5/18IA | 500*150*11.5/18IA |
| Topside tank side shell | Plate      | 25.5              | 20.5              |
|                         | Longl      | 500*150*11.5/18IA | 500*150*11.5/18IA |
|                         | Trv ord FR | 450*125*11.5/18IA | 600*12*150*18 T   |
| Hold side shell         | Plate      | 20.5              | 20.5              |
| Hopper tank side shell  | Plate      | 21.5              | 20.5              |
|                         | Longl      | 350*100*12/17IA   | 300*90*13/17IA    |
| Hopper tank sloped      | Plate upp  | 17.5              | 18.0              |
|                         | mid        | 20.5              | 21.0              |
|                         | low        | 23.0              | 22.5              |
| Bilge strake            | Longl      | 350*100*12/17IA   | 350*100*12/17IA   |
|                         | Plate      | 22.5              | 23.0              |
| Inner bottom            | Plate      | 23.5              | 23.5              |
|                         | Longl      | 400*100*12/18IA   | 400*100*12/18IA   |
| Centre girder           | Plate      | 20.5              | 20.5              |
| Duct side gir           | Plate      | 20.0              | 18.5              |
| N.W.T. side gir         | Plate      | 16.5              | 16.5              |
| Plate keel              | Plate      | 1900*24.5         | 1700*25.0         |
| Bottom                  | Plate      | 22.5              | 23.0              |
|                         | Longl      | 350*100*12/17IA   | 300*90*13/17IA    |

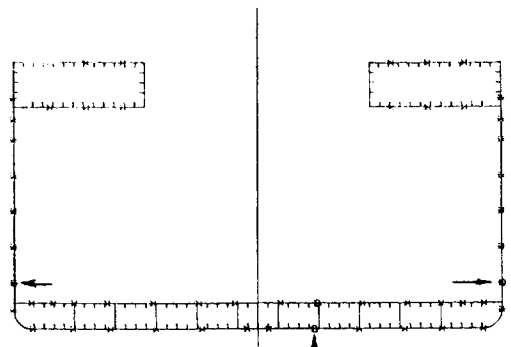
(1) 구조형상 변화에 따른 영향

여러가지의 중앙단면 형상의 변경 가능성중에 topside 와 hopper side tank의 형상 변화에 따른 효과를 살펴 보았다.

그중 zero slope design을 Fig. 2에 보이고 있으며, 이들의 효과는 Table 2 및 3에 요약되어 있으나, 총전 조비를 최소로 하는 inclined bulkhead의 slope는 대략 17도(upper tank)와 30도(lower tank)임을 알 수 있다.

(2) 표준화(Standardisation) 정도의 상이함에 따른 영향

표준화의 정도는 조선소마다 다르다. 강판과 형강재의 표준규격 및 이들의 저장 갯수, block division과



**Fig. 2** Preliminary midship section showing block division

**Table 2** Sectional area and steel weight vs slopes of topside and hopper tank inclined bulkheads

| Slope of Bulkheads (deg) |                 | Sectional area (cm <sup>2</sup> ) |         |        | Steel weight (tonnes) |         |       |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------------|---------|--------|-----------------------|---------|-------|
| Topside                  | Hopper          | Plate                             | Section | Total  | Plate                 | Section | Total |
| 0.0                      | 0.0             | 46,326                            | 9,068   | 55,394 | 713                   | 308     | 1,021 |
| 7.0                      | 18.7            | 45,419                            | 9,491   | 54,910 | 710                   | 270     | 980   |
| 16.8                     | 29.7            | 47,203                            | 9,859   | 57,062 | 720                   | 194     | 914   |
| 32.3                     | 44.3<br>(basis) | 46,964                            | 10,709  | 57,673 | 736                   | 183     | 919   |

**Table 3.** Production cost variations with slopes of topside and hopper tank inclined bulkheads

| Sloped angles(deg) |             | Production costs(pounds) |         |          |         |
|--------------------|-------------|--------------------------|---------|----------|---------|
| Topside            | Hopper      | Material                 | Labour  | Overhead | Total   |
| 0.0                | 0.0         | 223,927                  | 151,470 | 28,488   | 403,885 |
| 7.0                | 18.7        | 215,153                  | 154,754 | 30,191   | 400,098 |
| 16.8               | 29.7        | 199,991                  | 155,404 | 30,192   | 385,586 |
| 32.3               | 44.3(basis) | 201,249                  | 158,571 | 30,781   | 390,600 |

block의 갯수, block 한개의 중량 등은 구조설계에 yard standard를 효과적으로 적용하는데 있어 중요한 인자가 된다.

yard practice 중 한가지, 즉 block division의 변화에 대한 효과를 고찰해 보았다. block 갯수 4개~8개인 6가지의 서로 다른 division을 비교 검토한 바, 이들의 결과를 표기한 Table 4를 보면 조선회의 하역 및 운반 장치, crane 등의 시설 용량이 허용하는 한 4개의 block division이 가장 유리하며, 이 경우 8개 block division의 경우 보다 5%의 총건조비 감소 효과를 가져올 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 2는 top side tank가 zero slope를 갖는 중앙단면 형상으로써 4개의 block으로 분할된 것을 보여준다.

Table 4에서 block 갯수중 "5.1"과 "5.3"의 의미는 5개의 block으로 분할된 구조이나 block joint의 위치

**Table 4** Production cost variations with different unit divisions

| No. of units | Production costs(pounds) |         |          |         |
|--------------|--------------------------|---------|----------|---------|
|              | Material                 | Labour  | Overhead | Total   |
| 4            | 223,927                  | 136,278 | 24,290   | 384,494 |
| 5.1          | 223,927                  | 137,348 | 24,603   | 385,878 |
| 5.3          | 223,927                  | 143,003 | 26,112   | 393,042 |
| 6            | 223,927                  | 144,073 | 26,425   | 394,426 |
| 7            | 223,927                  | 144,745 | 26,666   | 395,337 |
| 8(basis)     | 223,927                  | 151,470 | 28,488   | 403,885 |

가 상이한 구조를 편의상 구분하여 표현한 것이다.

(3) Transverse Frame Spacing의 변화에 따른 영향  
본 system은 frame spacing과 longitudinal spacing을 변화시켜가면서 중량 및 건조비를 신속히 비교 검토할 수 있는 장점이 있는 바, 본 논문에서는 transverse frame에 대한 경우를 예시해 보았다. Transverse web frame과 floor의 spacing은 hold 내의 frame spacing 0.8m의 배수로서 floor는 web frame spacing의 half interval로 설치되었다. Table 5와 Fig. 3은 0.8m~4.8m까지의 6가지의 서로 다른 web frame spacing을 갖는 설계에 대한 건조비 변화를 보여주고 있는데 모든 경우 longitudinal spacing은 900mm이다.

Fig. 3에서 자재비 곡선은 1.6m web frame spacing에서 최소가 되며, spacing이 넓어질수록 Rule scantling이 커지므로 자재비는 증가한다.

반면에 인건비와 overhead cost는 반대의 경향을 보

**Table 5.** Production cost variations with alternative transverse web frame spacings

| Web frame spacings (m) | Production costs(pounds) |         |          |         |
|------------------------|--------------------------|---------|----------|---------|
|                        | Material                 | Labour  | Overhead | Total   |
| 0.8                    | 186,034                  | 185,169 | 47,617   | 418,820 |
| 1.6                    | 185,080                  | 168,517 | 40,204   | 393,801 |
| 2.4                    | 186,854                  | 159,262 | 35,492   | 381,609 |
| 3.2                    | 191,346                  | 157,479 | 33,137   | 381,961 |
| 4.8(basis)             | 201,249                  | 158,571 | 30,781   | 390,600 |

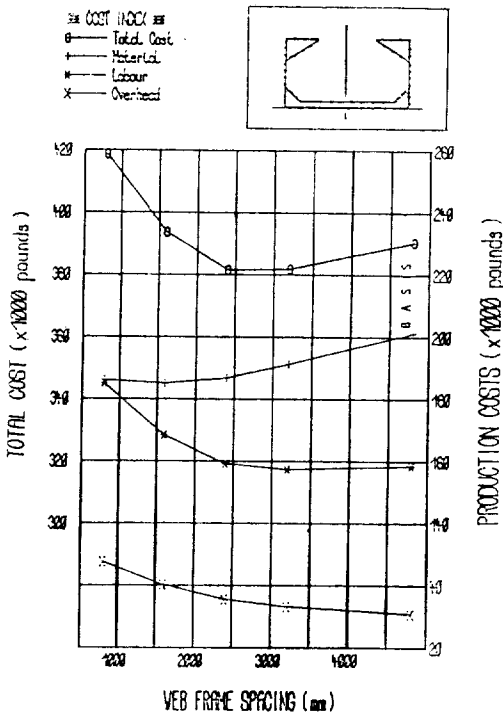


Fig. 3 Production cost variations (conventional ship type)

이다. 그 이유는 intersection joint의 수가 감소하기 때문이다. 인건비 곡선은 3.2m spacing에서 최소값을 가지며 4.8m spacing에서 약간 증가하는데 이는 longitudinal member의 표면적이 현저히 증가하여 인건비중 preparation cost를 증가시키기 때문이다. 중앙단면의 sectional area, 표면적 및 preparation cost는 Table 6에서 비교되어 있다.

결과적으로 총건조비는 2.4m web frame spacing에서 최소가 됨을 알 수 있다.

(4) Unit Cost와 Labour Rate의 변화에 따른 영향 위에 예시한 결과들이 여러가지의 cost parameter가 변함에 따라 어떤 영향을 받는지를 알아보는 일도 매우 흥미있는 일이 아닐 수 없다. 따라서 unit material cost(CM), wage rate(WR) 및 labour manhour rate(LR) (labour manhour rate는 "inverse performance"라고도 정의함)들을 기준치인 CMo, WRo 및 LRo의 각각에 0.5배, 1.5배 한 값으로 다시 계산하여 transverse web frame spacing을 0.8m~4.8m 일때의 총건조비를 같은 방법으로 비교해 보았다.

Material unit cost의 변화에 따른 영향이 Table 7 및 8에 요약되어 있는 바, 자재비가 3배 가량 증가함에 따라 총 건조비도 55~65% 증가했으나, 최적 frame spacing은 변함이 없음을 알 수 있다. 즉 Table 5, 7 및

Table 6. Comparison of some results with alternative transverse web frame spacings

| Web frame spacings(m) | Sectional area (cm <sup>2</sup> ) |               | Surface area (cm <sup>2</sup> ) |          | Preparation cost (pounds) |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------|---------------------------------|----------|---------------------------|
|                       | Plates                            | Longitudinals | Plates                          | Sections |                           |
| 0.8                   | 48,938                            | 5,421         | 8,238                           | 1,545    | 65,580                    |
| 1.6                   | 48,890                            | 5,323         | 8,238                           | 1,519    | 65,363                    |
| 2.4                   | 48,494                            | 6,140         | 8,238                           | 1,740    | 67,202                    |
| 3.2                   | 47,721                            | 7,795         | 8,238                           | 2,193    | 70,966                    |
| 4.8                   | 46,964                            | 10,709        | 8,238                           | 2,991    | 77,605                    |

Table 7 Production cost variations with alternative web frame spacings for lower unit costs of materials (CM/CMo=0.5)

| Web frame spacing (m) | Production costs(pounds) |         |          |         |
|-----------------------|--------------------------|---------|----------|---------|
|                       | Material                 | Labour  | Overhead | Total   |
| 0.8                   | 93,017                   | 185,169 | 47,617   | 325,803 |
| 1.6                   | 92,540                   | 168,517 | 40,204   | 302,261 |
| 2.4                   | 93,427                   | 159,262 | 35,492   | 288,182 |
| 3.2                   | 95,673                   | 157,479 | 33,137   | 286,289 |
| 4.8                   | 100,624                  | 158,571 | 30,781   | 289,976 |

Table 8 Production cost variations with alternative web frame spacings for higher unit costs of materials (CM/CMo=1.5)

| Web frame spacing (m) | Production costs (pounds) |         |          |         |
|-----------------------|---------------------------|---------|----------|---------|
|                       | Material                  | Labour  | Overhead | Total   |
| 0.8                   | 268,166                   | 185,169 | 47,617   | 500,953 |
| 1.6                   | 267,049                   | 168,517 | 40,204   | 475,770 |
| 2.4                   | 268,693                   | 159,262 | 35,492   | 463,448 |
| 3.2                   | 273,035                   | 157,479 | 33,137   | 463,651 |
| 4.8                   | 283,598                   | 158,571 | 30,781   | 472,949 |

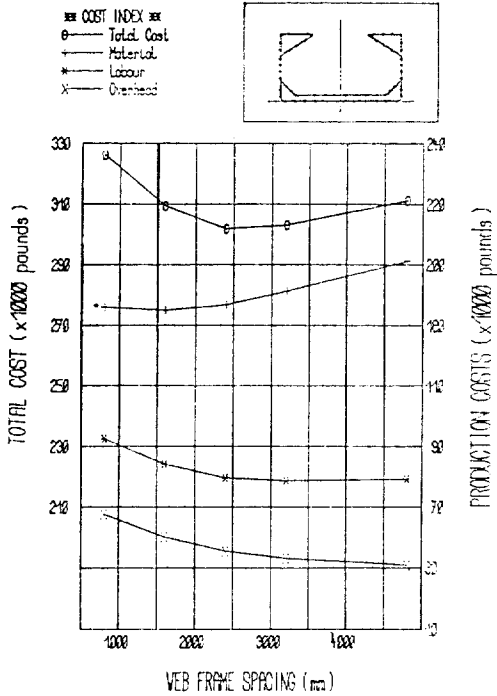


Fig. 4 Production cost variations with wage rate reduced WR/WRO=0.5

8에서 보듯이 자재비 변화에 무관하게 spacing이 2.4m 또는 3.2m 일때 최적치에 가까움을 알 수 있다.

서로 다른 wage rate에 대한 영향도 초기 기준치보다 각각 50%와 150%에 대한 결과를 graph로 나타내어 Fig. 4 및 5에 나타낸 바, wage rate가 높아질수록 총건조비를 최소로 하는 frame spacing은 커지는 경향(즉, 2.4m에서 3.2m로 커짐)을 알 수 있다.

Table 9. Production cost variations with alternative web frame spacings for lower labour man-hour rates (i.e. in better performance; LR/LRo=0.5)

| Web frame spacing (m) | Production costs(pounds) |        |          |         |
|-----------------------|--------------------------|--------|----------|---------|
|                       | Material                 | Labour | Overhead | Total   |
| 0.8                   | 186,034                  | 92,585 | 23,809   | 302,427 |
| 1.6                   | 185,080                  | 84,258 | 20,102   | 289,440 |
| 2.4                   | 186,854                  | 79,631 | 17,746   | 284,232 |
| 3.2                   | 191,346                  | 78,740 | 16,568   | 286,654 |
| 4.8                   | 201,249                  | 79,285 | 15,390   | 295,925 |

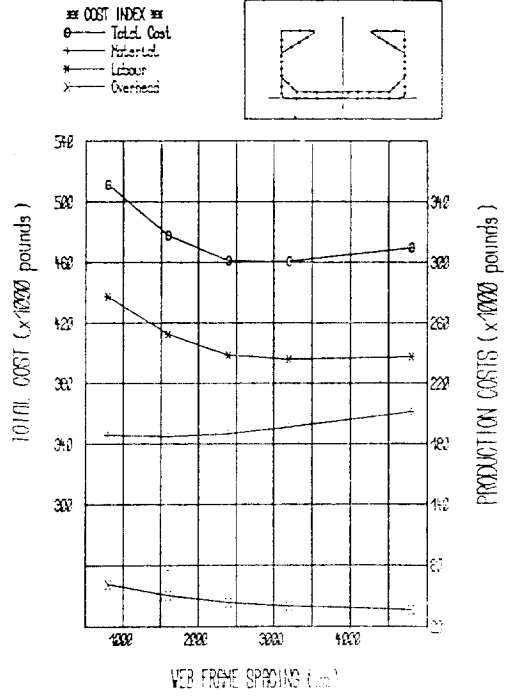


Fig. 5 Production cost variations with wage rate increased WR/WRO=1.5

마지막으로, labour rate(즉, manhours per ton)의 변화가 최소 건조비에 미치는 영향은 Table 9 및 10에 나타난 바, 예상대로 labour rate가 높을수록 넓은 spacing에서(즉, 2.4m보다 3.2m에서) 건조비의 최적치가 나타난다. 그러므로 생산성이 높은 회사일수록 frame spacing을 줄이는 설비가 경제성을 감안한 것으로 볼 수 있겠다.

Table 10 Production cost variations with alternative web frame spacings for higher labour man-hour rates (i.e. in poorer performance; LR/LRo=1.5)

| Web frame spacing (m) | Production costs(pounds) |         |          |         |
|-----------------------|--------------------------|---------|----------|---------|
|                       | Material                 | Labour  | Overhead | Total   |
| 0.3                   | 186,034                  | 277,766 | 71,436   | 535,235 |
| 1.6                   | 185,080                  | 252,784 | 60,314   | 498,179 |
| 2.4                   | 186,854                  | 238,901 | 53,246   | 479,001 |
| 3.2                   | 191,346                  | 236,225 | 49,712   | 477,283 |
| 4.8                   | 201,249                  | 237,862 | 46,177   | 485,288 |