Journal of the KSQC
Vol. 15, No. 2, 1987

相對的 作業優先順位 決定을 위한 緊急率法에 관한 事例研究

A Study on Critical Ratio Scheduling for Determining the Relative Priority

崔 昌 鎬*

ABSTRACT

The purpose of this paper is to find out the relative priority among the queueing products for next operation. Critical ratio scheduling is a technique for use in production scheduling to establish and maintain relative priority among the jobs. The relative priority is based on a ratio of when the completed job is required and how much time is required to complete it. A numerical example of "D" company is solved. Jobs are classified into 3 categories; the behind scheduling jobs, the on time jobs and the ahead scheduling jobs.

Ⅰ. 序 論

生産시스템은 開放시스템이므로 需要, 生産能力, 經濟狀況, 國內外的 技術變化, 政府政策, 社會的 變化 등 廣範圍하고 不確實한 要因(Contingent factor)들에 의하여 生産 및 日程計劃은 계속하여 變化하게 된다. (Luthans, 1973)

企業의 生産活動은 長期計劃에 의하여 生産시스템의 能力이 決定되고, 短期運營計劃에 의하여 生産 및 日程管理를 하는 것이 一般的이다. 그러나 企業은 稼動率을 適正化하면서 製品의 納期를 지키는 동시에 最適品質의 製品을 生産하고자 하므로 短期運營計劃은 每日, 每週 혹은 每月 끊임없이 變化하게 된다.

특히 多品動을 多數作業工程을 통하여 生産하는 企業의 경우에는 대부분의 品種의 納期가 다르고 또한 各 製品의 製造工程 및 製造時間도 相異하므로 問題는 더욱 어렵게 된다. 즉, 生産設備의 稼動率이 不均衡하게 되어 納期遲

*曉園工業專門大學 講師

延이 發生하고 隘路工程으로 인하여 殘業을 계속하여도 作業待期品이 계속 늘어나는 반면 다른 일부의 工程에서는 作業物品이 부족한 경우도 發生하게 된다.

이런 경우 任意의 作業待期狀態에 있는 作業待期品들의 作業優先順位를 合理的으로 決定하기 위한 方法이 必要하다.

本 硏究에서는 作業待期品들의 相對的 作業優先順位를 決定하기 위하여 旣存解法이 가지고 있는 限界性을 克服하고 現實的으로 適用이 容易한 緊急率法(Critical Ratio Scheduling)을 基礎로 하여 "D"社의 冷間壓延鋼板의 製造工程에 適用하였으며, 반복되는 緊急率의 計算에 소요되는 時間을 줄이기 위하여 Apple Ⅱ Micro Computer를 利用하여 MBASIC 言語로 CRITIS라는 프로그램을 作成하여 解를 구했다.

Ⅱ. 作業의 優先順位 決定法

作業待期品의 作業優先順位를 決定하기 위한 數理的 解法은 分岐限界法(Branch and Bound Approach), 漸近法 解法(Heuristic Procedure) 그리고 整數計劃法(Integer Programming Approach)과 함께 發展되어 왔다. (Baker, 1974)

그러나 이런 方法들은 복잡한 計算으로 인하여 現實的 適用이 어렵다.

生産 및 在庫管理의 理論에서는 주로 餘裕時間(Slack time)을 基準으로 作業의 優先順位를 決定하는 方法이 發展되었으며, 一般的으로 사용되는 10가지 規則은 다음과 같다. (Chase and Aquilano, 1985)

(1) FCFS(First-Come, First-Served)
(2) SOT (Shortest Operations Time)
(3) Due Date
(4) Start Date
(5) STR(Slack Time Remaining)
(6) STR/OP(Slack Time Remaining per Operations)
(7) CR(Critical Ratio)
(8) QR(Queue Ratio)
(9) LCFS(Last-Come, First-Served)
(10) Random Order

이러한 規則의 有用性에 관하여 專門家들이 주로 시뮬레이션(Simulation) 方法을 使用한 硏究에 의하면, 最小時間法(SOT)이 有用性이 높다고 主張하였으며, 이러한 硏究結果는 여러 學者들에 의하여 확인되었다. (Buffa and Miller, 1979), (Conway and Maxwell, 1962)

그러나 이들 硏究가 모두 美國의 企業體를 對象으로 이루어진 것이고 또 硏究의 편의상 극히 일부에 속하는 現場만을 對象으로 한 것이기때문에 어느 企業의 경우나 適用할 수 있다고 말하기는 어려우며 특히 管理方式이 아직도 標準化되어 있지 않은 우리나라 企業의 生産管理시스템에서도 이 原則이 適用될 것인지는 판단하기 어렵다. (金基永, 1981)

Berry and Rao(1975)는 實驗計劃法을 適用한 시뮬레이션을 통하여 標準待期時間의 分母를가진 作業과 다른 作業을 비교하는 것은 意味가 없으며, 緊急率法은 일정한 納期를 가진 生産시스템에 適用할 경우 總在庫維持費用이 현저히 감소한다고 主張하였다.

Ⅲ. 緊急率法

Riggs(1981)는 緊急率法은 1964年 Putnam 이 最初로 使用하였다고 한다. 緊急率法의 基本原理는 作業을 完了할 수 있는 時間과 製品納期間의 比率로 決定되며, 製品生産工程中 一定時點下에서 作業의 相對的 優先順位를 決定하여 生産日程을 計劃, 統制하는 技法이다.

任意의 時點에서 作業의 優先順位는 生産 시스템의 與件의 變化에 따라, 계속 變化하므로 이러한 動態的 狀況下에서 有用하게 使用할 수 있도록 設計되었다.

Greene(1970)에 의한 緊急率法의 일반적인 特徵은 다음과 같다.

(1) 特定作業의 狀況을 把握할 수 있다.

(2) 作業間의 相對的 優先順位度를 共通의 基準으로 決定할 수 있다.

(3) 計劃生産과 注文生産의 混合作業에서 共通의 基準으로 作業의 優先順位를 決定할 수 있다.

(4) 作業進度와 配置의 動態的 管理가 容易하다.

(5) 最近의 情報를 作業分配者나 監督者에게 提供할 수 있다.

(6) 待期中인 作業의 調整과 人力配置의 基礎資料를 提供한다.

緊急率은 需要者의 要求時間과 供給者의 作業時間에 의하여 決定된다. 즉 供給者의 作業時間보다 需要者의 要求時間이 짧다면, 供給者는 需要者의 要求에 맞추기 위하여 緊急히 作業해야 한다. 作業工程間에서 緊急率의 意味는 現在의 待期狀態에서 앞으로 作業해야 할 時間과 納期까지의 殘餘時間의 比率을 意味한다.

注文生産의 경우 緊急率을 구하는 公式은 다음과 같다.

$$CR=\frac{D-T}{LTR} \quad \cdots\cdots (1)$$

LTR : 殘餘生産所要時間

D : 納期日

T : 今日

여기서 殘餘生産所要時間은 다음의 公式에 의하여 구한다.

$$LTR=TLT-LTC \quad \cdots\cdots (2)$$

TLT : 總生産所要時間

LTC : 完了된 工程의 生産所要時間

여기서 總生産所要時間은 다음의 公式에 의하여 구한다.

$$TLT=O+\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{SQ+SU+Q\cdot R}{H\cdot E}\right)+\sum_{i=1}^{n}T \quad \cdots\cdots (3)$$

O : 注文處理時間

T : 作業場間 運搬時間

SQ : 로트當 標準待期時間

SU : 로트當 準備時間

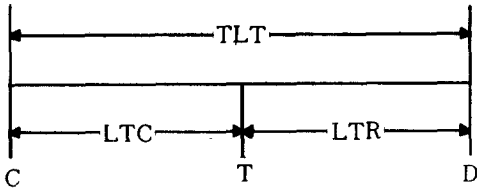
Q : 로트當 作業數量

R : 個當 標準時間

H : 一日 作業時間

E : 能率指數 (%)

위에서 說明한 殘餘生産所要時間(LTR), 總生産所要時間(TLT), 完了된 工程의 生産所要時間(LTC), 納期日(D), 今日(T), 注文締結日(C)의 関係를 알기쉽게 나타내면 〈그림 1〉과 같다.



〈그림 1〉 注文生産에서의 緊急率

위의 〈그림 1〉과 式(1)에서 알 수 있듯이 緊急率이 1이라는 意味는 現在의 作業이 正確히 日程에 맞게 生産되고 있음을 意味하며, 이 경우 納期까지의 남은 期間과 殘餘生産所要時間이 같음을 나타낸다. 緊急率이 1보다 크면 日程보다 빨리 生産可能하고, 반대로 1보다 작다면 日程보다 遲延되고 있음을 의미한다.

緊急率은 陰數인 경우와 0인 경우도 發生可能하며, 陰數인 경우라도 값이 작을수록 日程보다 遲延되고 있음을 나타내며, 0인 경우에는 緊急率은 同一하더라도 殘餘生産所要時間이 긴 作業을 優先的으로 作業하여야 한다.

計劃生産인 경우에는 納期日을 決定할 必要가 없으므로 現狀態의 在庫를 基準으로 在庫가 引出되어 安全在庫水準에 到達하는 期間을

日의 平均需要量으로 나눈 값을 納期까지의 남은 期間으로 假定하여 使用한다.

計劃生産의 경우 緊急率을 구하는 公式은 다음과 같다.

$$CR=\frac{(OH-SS)/ADU}{LTR} \quad \cdots\cdots (4)$$

OH : 現在의 在庫水準

SS : 安全在庫

ADU : 一日平均需要量

위의 式(1), (4)에서 注文生産이거나 計劃生産에서 各 品目의 殘餘生産所要時間이 共通으로 分母가 됨을 알 수 있다.

따라서 緊急率法 適用에 있어서 殘餘生産 所要時間은 가장 중요한 變數이다. 또한 各 作業工程, 運搬工程 그리고 待期工程이 어느 정도 安定되어 있으며, 各 工程의 正確한 標準時間이 算定되어야 緊急率法 適用에 正確性을 살려나갈 수 있다.

多品目의 作業對象이 多數工程을 거치는 경우 緊急率의 計算에 상당한 時間이 소요되므로 電算處理를 하는 것이 보다 효과적이다.

Ⅳ. 事例研究

本 事例는 "D"社의 冷間壓延鋼板 製造工程에 適用하였는데 "D"社는 注文生産과 計劃生産의 混合生産形態로 生産하고 있으나 대부분의 品目이 注文生産이므로 本 事例에서는 注文生産品目을 主로 選定하였다.

14段階의 工程中 5個의 待期工程에서 待期하는 品目은 各各 數十個에 達하므로 緊急率을 일일히 구하는 것은 상당한 時間이 所要되므로 이를 電算處理하였다. 즉, 任意의 製造工程을 選定하면 待期中인 모든 品目의 緊急率과 日程의 現狀態를 매우遲延, 遲延, 조금遲延, 適當 그리고 餘裕의 5段階로 區分되어 出力되도록 作成하였다.

本 事例研究를 위하여 다음과 같이 假定하였다.

假定 1 : 各 工程의 作業時間 및 運搬待期時間은 "D"社에서 提示한 데이터를 利用하였다.

假定 2 : 運搬時間이 待期時間中 차지하는 比率이 平均 3%이하이므로 注文處理時間 및 運搬待期時間에는 運搬時間이 包含되어 있다.

假定 3 : 日程의 狀態는 5段階로 나누었으며, 그 表記는 다음과 같다.

* 매우遲延 (DELAY***) : $CR<-5$
* 遲延 (DELAY**) : $-5\leqq CR<0$
* 조금遲延 (DELAY*) : $0\leqq CR<0.8$
* 適當 (NORMAL) : $0.8\leqq CR\leqq 1.2$
* 餘裕 (SLACK) : $1.2<CR$

이상의 假定을 基準으로 作成된 注文處理時間, 作業時間, 運搬 및 待期時間은 다음의 〈表 1〉과 같다.

〈表 1〉에 나오는 用語定義는 다음과 같다.

OPT (Order Preparation Time : 注文處理時間)

CRM (Cold Reduction Mill) : 冷間壓延工程)

ECL (Electric Cleaning Line : 電氣淸淨工程)

ANN (Annealing : 燒鈍工程)

TPM (Temper Mill : 調質壓延工程)

RWL (Rewinding Line : 되감기工程)

SHR (Shearing : 剪斷工程)

PAC (Packing : 包裝工程)

TD (Transportation and Delay : 運搬 및 待期工程)

G/C (General/Coil : 一般用 코일)

G/S (General/Sheet : 一般用 쉬트)

A/C (Auto/Coil : 自動車用 코일)

B/C (Band/Coil : 밴드用 코일)

C/C (CGL/Coil : 亞鉛鍍金用 코일)

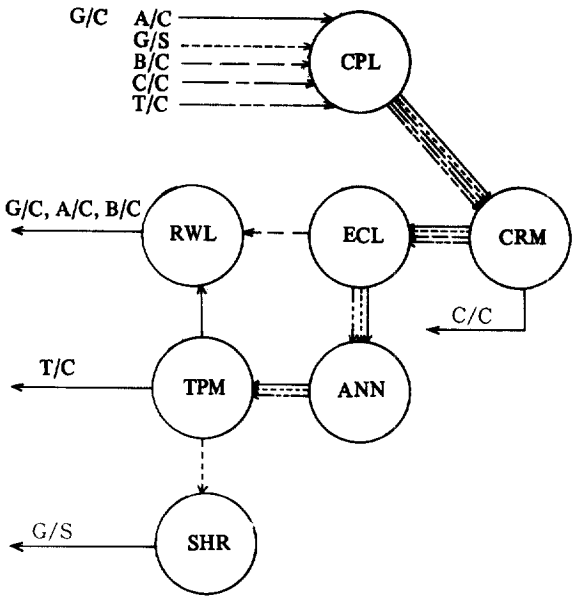
T/C (TMBP/Coil : 朱錫鍍金用 코일)

本 事例의 設備配置와 各 品目의 工程의 흐름은 〈그림 2〉와 같다.

〈表 1〉 工程別 標準時間

(單位 : 分)

Line / Item	OPT	CPL	TD	CRM	TD	ECL	TD	ANN	TD	TPM	TD	RWL	SHR	PAC
G/C	2880.00	24.58	212.54	33.26	90.63	27.89	1090.35	7272.00	3131.83	22.70	619.63	40.76	–	32.16
G/S	2880.00	20.98	432.88	33.75	474.67	20.37	1409.09	8231.62	5356.32	21.17	816.91	–	67.73	50.05
A/C	2880.00	14.95	359.64	45.73	353.78	22.26	2889.64	11127.32	6442.91	37.67	1087.00	51.76	–	32.16
B/C	2880.00	22.91	477.68	41.12	591.58	24.22	–	–	–	–	–	–	–	32.16
C/C	2880.00	18.40	506.12	37.03	–	–	–	–	–	–	–	–	–	18.74
T/C	2880.00	26.86	3220.38	82.33	4750.13	77.50	14537.92	7413.41	6566.17	56.57	–	–	–	32.16



〈그림 2〉 品目別 工程흐름図

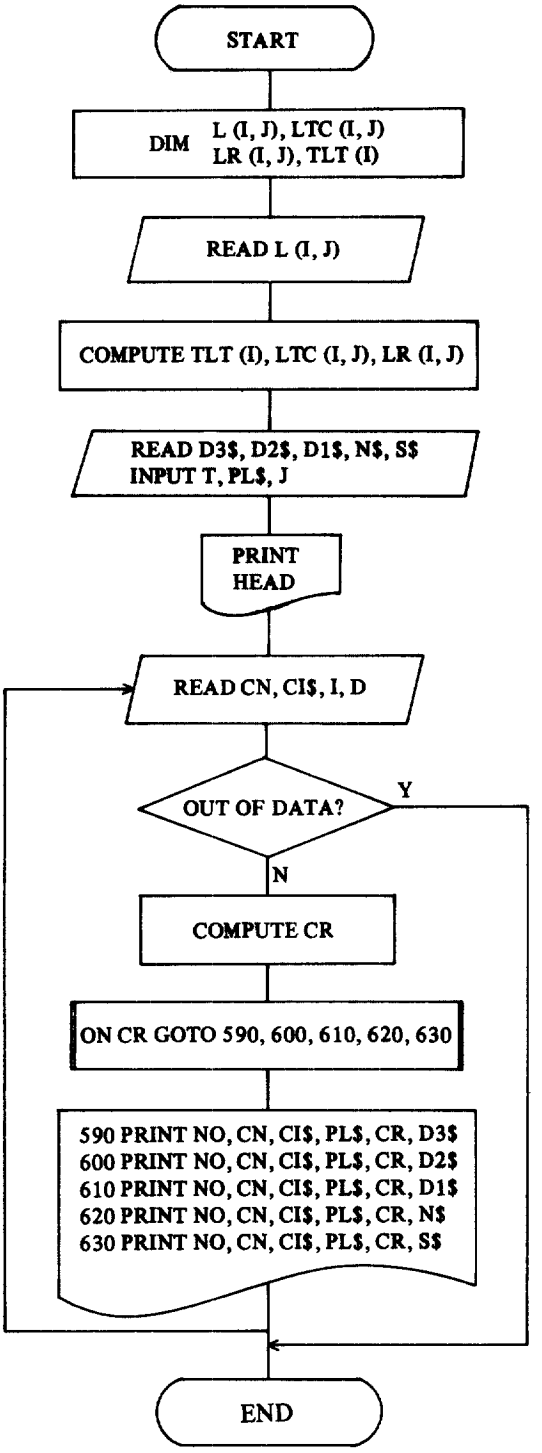
各 工程에는 數十個의 製品이 待期中에 있으므로 이들의 緊急率을 구하기 위하여 CRITIS라는 名稱의 프로그램을 作成하였다.

CRITIS 는 Apple Ⅱ Micro Computer에서 M-BASIC 言語로 作成되었으나, 最近 普及이 급격히 增加한 IBM-XT/AT 의 GW-BASIC 에서도 修正없이 使用할 수 있다.

CRITIS 의 Flow-Chart는 다음의 〈그림 3〉과 같다.

〈表 1〉의 데이터를 使用하여 1987年 9月 1日 午前 8時 現在의 "D"社의 冷間壓延鋼板 製造工程中 電氣淸淨工程의 待期中에 있는 作業待期品들을 CRITIS 에 의하여 電算處理한 結果는 다음의 〈表 2〉와 같다.

〈表 2〉에서 알 수 있듯이 電氣淸淨工程의 待期中에 있는 30個의 製品中 現在 25個의 製品이 正常作業으로는 納期內에 作業을 完了할 수 없다. 특히 723813번의 亞鉛鍍金用 코일은 매우 遲延되고 있음을 알 수 있다. 그러나 이것은



〈그림 3〉 CRITIS 의 Flow-Chart

亞鉛鍍金用 코일의 殘餘生産所要時間을 基準으로 遲延되고 있음을 의미하므로 一般用 코일등 다른 코일과는 緊急率을 比較할 수 없는 短點이 있다. 즉, 一般用 코일에서는 722695와 722552번의 코일이, 自動車用 코일에서는 723502번코일이, 밴드용 코일에서는 723436번 코일이, 亞鉛鍍金用 코일에서는 723813번 코일이, 朱錫鍍金用 코일에서는 723555번 코일이 가장 緊急함을 의미한다. 그러나 서로 다른 品目間의 緊急率은 比較할 수 없다.

서로 다른 品目間의 緊急率을 比較하기 위해서는 各 品目間의 殘餘生産所要時間의 차이를 補正해야 한다.

全般的으로 日程보다 遲延되는 作業이 電氣淸淨工程의 待期中인 製品의 약 83%에 이르므로 全體的인 日程計劃의 調整이 必要하다고 思料되며 現狀態로 作業할 경우 緊急率이 높은 품목부터 作業하는 것이 바람직하다.

V. 結　論

生産日程計劃에서 作業의 優先順位를 決定하는 여러 가지 技法들이 開發되어 있으나 管理方式의 多樣化와 各 企業의 注文日과 納期日에 따르는 生産能力의 問題에 비추어 볼때 運營 및 日程計劃을 動態的으로 管理하기에는 隘路가 많다.

이런 경우 動態的 日程管理技法으로서의 緊急率法의 適用은 짧은 時間에 作業의 相對的 優先順位를 決定하고 全般的인 日程計劃의 진행상태를 파악함으로써 製品의 納期遵守를 통한 生産性 向上에 寄與할 수 있다.

本 硏究에서는 "D"社의 事例에 Apple II Micro Computer를 利用하여 CRITIS 프로그램을 MBASIC으로 作成하여 緊急率法을 適用한 結果 1987年 9月 1日 午前 8時 現在의 各 作業場別 製品의 作業優先順位를 正確히 決定할 수 있었다.

따라서 多品種의 製品이 多段階의 工程을 거쳐 生産되는 多樣한 生産管理가 要求되는 경우 注文生産이나 計劃生産이나, 혹은 混合生産에서도 緊急率法의 適用이 바람직하다. 특히 中小企業에서 本 硏究에서 提示한 緊急率法과 CRITIS 프로그램을 活用하면 現實的狀況을 考慮한 最適作業優先順位를 決定하여 企業의 原價節減 및 生産性向上에 寄與할 수 있으리라고 본다.

〈表 2〉 電氣淸淨工程 待期製品의 緊急率

CRITICAL RATIO PER EACH COIL NUMBER

NO	COIL NO	COIL ITEM	PROCESS LINE	C.R.	LEVEL
1	722695	GEN /COIL	ECL/D	-1.41207	DELAY **
2	722879	GEN/SHEET	ECL/D	-.631055	DELAY **
3	723552	GEN /COIL	ECL/D	-1.41207	DELAY **
4	723567	GEN /COIL	ECL/D	.235346	DELAY *
5	723581	GEN /COIL	ECL/D	.470691	DELAY *
6	723588	GEN /COIL	ECL/D	1.05906	NORMAL
7	723589	GEN /COIL	ECL/D	-.82371	DELAY **
8	723601	GEN /COIL	ECL/D	-.235346	DELAY **
9	723666	GEN/SHEET	ECL/D	.360603	DELAY *
10	723667	GEN /COIL	ECL/D	0	DELAY *
11	723668	GEN /COIL	ECL/D	.470691	DELAY *
12	723670	GEN /COIL	ECL/D	1.05906	NORMAL
13	723024	AUTO/COIL	ECL/D	0	DELAY *
14	723026	AUTO/COIL	ECL/D	.132776	DELAY *
15	723025	AUTO/COIL	ECL/D	.265551	DELAY *
16	723027	AUTO/COIL	ECL/D	.265551	DELAY *
17	723028	AUTO/COIL	ECL/D	.597491	DELAY *
18	723029	AUTO/COIL	ECL/D	1.26137	SLACK
19	723502	AUTO/COIL	ECL/D	-1.39414	DELAY **
20	723504	AUTO/COIL	ECL/D	-.398327	DELAY **
21	723505	AUTO/COIL	ECL/D	-.132776	DELAY **
22	723436	BAND/COIL	ECL/D	-536.36	DELAY ***
23	723781	BAND/COIL	ECL/D	-51.0819	DELAY ***
24	723788	BAND/COIL	ECL/D	102.164	SLACK
25	723813	CGL /COIL	ECL/D	-2382.07	DELAY ***
26	723923	CGL /COIL	ECL/D	-153.682	DELAY ***
27	723925	CGL /COIL	ECL/D	307.364	SLACK
28	723555	TMBP/COIL	ECL/D	0	DELAY *
29	723557	TMBP/COIL	ECL/D	.200811	DELAY *
30	723585	TMBP/COIL	ECL/D	.451824	DELAY *

DELAY *** coil number is the most urgent !!!
DELAY ** coil number is more urgent !!
DELAY * coil number is urgent !

參 考 文 獻

1. 金基永(1983), 生產管理, 法文社, 545－552
2. Baker, K.R. (1974), Introduction to Sequencing and Scheduling, John Wiley & Sons, 193-200.
3. Berry, W.L. and Rao, V. (1975), *"Critical Ratio Scheduling: An Experimental Analysis"*, Management Science, Vol. 22, No. 2, 192-201.
4. Buffa, E.S. and Miller, J.G. (1979), Production-Inventory Systems, 3rd ed., Irwin, 494-499.
5. Chase, R.B. and Aquilano, N.J. (1985), Production and Operations Management, 4th ed., Irwin, 584-585.
6. Conway, R.W. and Maxwell, W.L. (1962), *"Network Scheduling by Shortest Operation Discipline"*, Operations Research, Vol. 10, No. 1, 51-73.
7. Greene, J.H. (1970), Production and Inventory Control Handbook, Mcgraw-Hill, 13.13-13.23.
8. Luthans, F. (1973), *"The Contingency Theory of Management, A path out of the Jungle"*, Business Horizons, June, 70.
9. Riggs, J.L. (1981), Production Systems: Planning, Analysis and Control, 3rd ed., John wiley & Sons, 504-506.