

# 윤관리



## 作動油汚染管理의 실제(I)

서울대학교 工科大學  
名譽教授 鄭善謨

### 1 윤관리의 歷史

지금부터 60年前의 기계공장에서는 공장 천정 속에 끝에서 끝까지 이르는 기다란 主 구동샤프트가 있고, 몇곳이 베어링으로 받쳐져 있고, 그리고 각각의 기계대수에 따라 段車가 부착되고 大形의 모터에서 벨트로서 샤프트(軸 Shaft)가 구동되면, 段車가 구동되고, 다시 段車에서 벨트로서 각 기계의 主軸이 구동되고 공장은 이 기계들이 돌아가는 소음으로 하루가 시작되어 하루 종일 活況이 계속되고는 하였다. 당시, 이 천정 속의 베어링에 기름을 치는 오일러맨(Oiler man)이 있었다. 그들은 아침 일찍부터 出勤하여 각 베어링에 되도록 많은 충분한 기름을 差入하고, 기름不足에 의한 고장방지의 역할을 담당하였던 것이고 無意識給油라고는 하지만 潤滑管理係의 선구자가 되었다. 또 각 기계에의 給油는 각각 기계공이 적당히 상태를 잘 살펴서 되도록 많다고 여기지는 量의 기름을 差入하는 式으로 給유하여 기름이 넘쳐흘러 나오는 수가 많았다.

그 무렵 美國에서는 스탠다아드배콤石油會社(Standard Vacuum Oil Company) 등에서는 技師長에 의하여 베어링과 컴프레셔(Compressor)의 擦過面積과 回轉數에 의하여 산출되는 표준급유량의 계산식이 확립되어 착착 실시되고 있으며 종래의 무의식급유에서 科學的合理性을 갖춘 윤활관리법에 의하여 기름의 절약시대를 맞고 있었다.

일본에서는 이 수법은, 전쟁에 의한 石油의 절대량부족이라는 위기에 직면하고 있었으며 주로 軍수공장에 導入되어 있을 뿐이었다. 이것으로,

1年間の 기름의 소비는 1/3로 절감되었으며 더욱이 기름의 쓸데 없는 소비가 없어져 공장의 마루바닥에서 검은 기름의 자욱이 없어져 직장환경이 淨化된것은 一石二鳥의 效果를 보았다고 말할 수 있을 것이다. 그리고 또 일본에서 油壓구동이 導入된것은 지금으로부터 약 50年前이며 전후 石油의 공급이 윤택하게 되고 많은 기계가 油壓구동으로 바뀌어졌다. 油壓作動油가 대폭적으로 수요가 늘어나서 기름의 수명延長과 性能向上을 시키기 위한 첨가제도 개발되었다. 이 첨가제의 소모時點을 가지고 기름의 交換 즉 更油時期가 되는 것으로 되어 기름의 壽命延長과는 반대로 기름의 定期交換에 의한 사용포기의 '時代'로 되었다. 그러나 1973년에 생긴 石油쇼크로 또다시 기름의 一時的 절약시대를 맞게 되었다. 그러나 이것은 문제가 먼저 터진것 뿐이고 도리어 기름의 汚染에 의한 윤활고장이 많이 발생하여 다시 更油는 어찌할수 없이 다시 해야되는 方法으로 定着化하게 되었다.

石油쇼크의 1年前 처음으로 세계에서 제일먼저 靜電 淨油機가 實用化되어 그때까지 필터(filter)로서 除去할수 없었던 油中の 코로이드粒子的 제거가 可能하게 되었다. 그때부터 약 15年間 많은 實施例로부터 更油의 개념은 차차로 모습을 감추게 되어 다시 更油하지 않게 하기위한 汚染度基準을 중시하고 바야흐로 기름을 淨化하면 無更油 그대로, 트라이보로지메인टे넨스프리(tribology maintenance free)의 時代를 맞게 된 것이다. 즉 절약이 가져온 一石二鳥의 效果를 보게 된 것이다.

2 기름의 劣化와 그對策

모든것은 오래되면 나쁘게 변질하는것은 상식이다. 기름도 마찬가지로 長時間사용하면 變色하기도 하고 혼탁하게 되므로, 기름全體가 나쁘게 되는 것으로 판단하여 기름은 劣化되었다고 말할수 있게 된다. 그러나 이 혼탁하게 되는 성분은 全體의 1萬分の 1以下이고, 혼탁의 成分을 除去시킨 남은 기름은 新油보다 우수한 기름으로 만들수가 있다는 것은 숙련공들이 흔히 경험상 말하기도 한다.

(1) 劣化와 トラブル의 主役

表1은 外國의 모회사에서 分析依賴를 받은 作動油의 代表的 分析例이고, 각 試料의 使用기간은 平均 약 1年이라고 推定되고 1年間の 汚染物의 發生率=6.73(mg/100ml/年)에 불과하다.

表1 作動油의 分析例

No	試料名	汚染量 (kg/ml)	水分 (PPm)	全酸價 (KOH/g)	點度 (CSt/40°C)	비고
1	제네랄바노울56	4.4/50	110			
2	하이드라크스32	4.4/50	90	0.94 (0.71)	32.9 (29.82)	내마모성
3	다프니하이 드로리퀵56	3.6/100	75	0.16 (0.08)	55.2 (56)	
4	모비일 DTE26	6.0/50	95	(1.0<)		내마모성
5	JH-325	3.5/100	70	0.43		
6	셀테라스46	4.2/50	70	0.35	39.9 (46.0)	低點度油의 混合
7	"	6/100	140	0.67	41.6 (45.0)	"
8	스퍼하이렌드32	2.8/50	47	(0.76)	32.1 (32.5)	내마모성
9	스퍼하이렌드56	3.4/50	140	(0.76)	55.7 (69.9)	"
10	스와루우프56	2.8/100	80	0.15		
	平均價	6.63/100	91.7			

그리고 이 汚染物(以下 먼지라고 말하기로 한다.)의 主成分은 금속마모가루라고 생각하기 쉬우나 별개의 똑같은 試料에 대하여 SOAP法으로 조사한 表2에 의하면 全然 予想밖으로 먼지 中の 金屬成分 含有率=2.3%에 지나지 않고 남은 대

부분은 기름과 첨가제가 변질된 코로이드 粒子이고, 기타 솜먼지가 눈에 띄게 많다. 또, 첨가제로서 代表的인 Zn DTP를 포함한 기름에 대해서는 表3에 표시한바와 같이 슬러지中에 아연이 약 60%포함되고 있다.

表2 作動油50(ml)중에 포함되는 金屬成分 [단위]mg

No.	Fe	Cu	計	%	汚染量
1	0.040	0.005	0.045	7.5	0.6
2	0.070	0.050	0.120	7.5	1.6
3	0.030	0.000	0.030	2.1	1.4
4	0.070	0.060	0.130	1.2	10.6
5	0.080	0.130	0.210	2.4	8.7
計	0.290	0.245	0.535	2.3	22.9

表3 作動油중의 먼지중의 金屬成分 [%]

金 屬	Zn	P	Fe	Cu	Ca	Mg	其他	合計
石油에테르不溶分	59.7	3.5	5.7	1.9	0.6	0.2	23.4	100
틀엔 "	62.8	2.4	5.6	1.5	0.3	0.2	27.2	100
피리진 "	21.6		0.6	0.1	0.2		77.5	100

즉, 이 첨가제는 기름의 酸化防止와 마찰면의 마모防止의 역할을 하게 되지만, 최후에는 化學反應에 의하여 코로이드 粒子로 된다. 즉, 汚染物의 90%以上은 기름과 첨가제가 변질한 코로이드狀의 소프트한 有機物이고, 이들이 油中에 약 0.01%以下로 존재하고 있을 뿐이다. 그런데도 トラブル이 생기는 것은 무엇 때문일까. 그것은 油中에 分散하고 있는 먼지의 數倍의 먼지가 油壓回路中의 복잡한 공간에 이르는 곳에서 섬유와 솜먼지와 기름이 같이 되어 部分的 高濃度로 되어, 스푸울과 流量調制御弁, 電磁弁, 油壓 모터등의 기름의 흐름을 방해하기 때문이다. 또 펌프로호용 스트레이너(Strainer)의 눈막힘에 의해 캐비테이션(Cavitation)을 일으켜서, 항상 기름이 끓키는 상태가 계속되어 이상소음(異常

騷音)과 振動을 併發하는 수도 많다. 故로 汚染物 즉 먼지는 血管의 코레스테로올이라고 말할 수 있다. 또 코로이드 粒子는 高温에서는 液化하고, 低温에서는 固化하기 때문에 冬期의 아침에는 起動困難이 생기기도 한다. 이들 중에서도 特히 耐摩耗性添加劑에서 생기는 汚染物이 아주 多量으로 발생하는 것이 있다. 이 경우에는 발생한 코로이드 粒子를 제거하지 않는 限 油膜 剥離가 생기어 耐摩耗性으로써의 效果를 잃게 되므로, 더 高層의 淨化處理가 必要하게 되는 것이다.

### [2] 粘度變化

新油의 粘度는 그 規格대로가 많고, 각각 數 CST의 公差가 있다. 故로 表1에서 新油의 基準値와 使用油와의 差가 있더라도, 使用油의 粘度가 變化한 것으로는 되지 않는다. 그 差는 보통은 測定의 誤差의 범위내이다.

기름은 熱分解에 의하여 低粘度물질에 생긴다든지 酸化重合에 의하여 高粘度물질이 생기는 것은 뚜렷이 명확하지만 그 發生量은 아주 미미한 것이며, 이것에 의하여 粘度와 比重이 變化하는 정도의 것은 아니고, 기름은 극히 安定한 물질이다. 때로는 왕왕 기름의 更油基準를 粘度 $\pm 10\%$ 으로 말하는 例가 있다. 본래 作動油의 粘度는 앞에서 논술한바와 같이 大幅의 變換을 經치지 않지만 作動油로서 必要한 潤滑性, 密封性이 變化하지 않고, 먼지 汚染物 먼지를 除去하면, 冷却性, 洗淨性도 유지할 수 있으므로 언제까지도 반복하여 거듭거듭 使用할수 있다는 有力한 근거가 된다.

### [3] 全酸價

石油系의 作動유에서는, 表1의 例와 같이, 新油일때 부터 첨가제에 의하여 全酸價가 높은 것이 있다. 이것이 低下되어 다시 上昇하기 시작할때를, 첨가제의 소모시기로 잡고 更油을 한時代에는 全酸價가 重視되었으나, 그것보다는 먼지의 害가 보다 重視되어, 오염물, 먼지를 除去시키면 기름도 酸化하기 어렵게 되는 것으로 되어, 오늘날에는 全酸價의 값이 그다지 問題로 삼지 않게 되었다.

### [4] 水分

기름탱크의 呼吸作用에서 空氣中の 濕氣가 油中에 混入하는 것도 고려된다.

보통 表1에서 나타난 바와 같이 100(ppm) 전후로 머물고 있다.

그러나 水分이 500(ppm) 以上으로 檢査되는 경우에는 기름탱크의 밑바닥에는 數 10%의 水分이 남아있는 수도 있고 이것이 油中에 混入하여 油膜剥離와 녹을 발생시키기도 한다. 이 경우에는 切削液과 冷却水가 누설되는 등 별개의 고장에 의한 것이고, 이 해결책이 급선무인 동시에 기름탱크内の 水分도 除去하지 않으면 안되는 것이다. 油中の 水分除去法에는 水分吸着法의 吸着劑를 使用한 필터(filter)가 널리 使用되고 있다.

## [3] 기름의 汚染分布

전절(前節)에서 논술한 것은 作動油의 管理에 全酸價와 粘度의 測定보다는 汚染度測定이 더욱 重要하다는 것을 의미한다. 汚染度 測定法에는 메시브란 필터 分析과 自動粒子數測定機가 使用되고 있으나, 이것만으로는 不充分하기 때문에 濁度測定도 併用하는 수가 많다.

### [1] 粗粒子和 코로이드 粒子

그림 1은 1( $\mu\text{m}$ )을 境界로 하여 粗粒子和 코로이드粒子로 크게 나누고 油壓고장과 汚染分析 및 汚染處理 方法과의 關係에 대하여 圖示한 것이다. 앞에서 말한 바와 같이 トラ블해결의 결정 技法은 粗粒子 보다도 코로이드 粒子의 除去이고 따라서 汚染分析도 코로이드 粒子의 分析이 가장 重要하다고 생각된다.

### [2] NAS 粒子數分布 汚染等級

5( $\mu\text{m}$ ) 以上の 사이즈(Size)別 粒子數 分布를 自動粒子測定機에 의하여 測定하고, 表4의 NAS 汚染度等級을 참조하여 오염도(汚染度)를 결정하는 것이 粒子數分布에 의한 NAS 汚染度等級이다.

粗粒子					コロ이드粒子							
50	20	10	5	2	1	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005
(하드物質) 摩耗粒子				油劣化促進 (소프트物質)								
NAS汚染度				油添加劑的酸化物								
메인란필터分析				油劣化促進, 알브固着, 필터눈막 및 기름의流動阻害, 캐비테이션發生								
濁度測定				靜電處理可能								
여과可能												

그림1. 汚染粒子的 사이즈別의 여러가지 문제

表 4 NAS汚染度 表示

汚染等級	00級	0級	1級	2級	3級	4級	5級	6級	
(미크론)과그數 (個數)	5~15 $\mu$ m	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	16,000
	15~25 $\mu$ m	22	44	89	178	356	712	1,425	2,850
	25~50 $\mu$ m	4	8	16	32	63	126	253	506
	50~100 $\mu$ m	1	2	3	6	11	22	45	90
	100 $\mu$ m以上	0	0	1	1	2	4	8	16
		7級	8級	9級	10級	11級	12級		
(미크론)과그數 (個數)	5~15 $\mu$ m	32,000	64,000	128,000	256,000	512,000	1,024,000		
	15~25 $\mu$ m	5,700	11,400	22,800	45,600	91,200	182,400		
	25~50 $\mu$ m	1,012	2,025	4,050	8,100	16,200	32,400		
	50~100 $\mu$ m	180	360	720	1,440	2,880	5,760		
		32	64	128	256	512	1,024		

汚染度の 사이즈別의 分布를 數로서 나타내는 것은 획기적 表現으로 여기는 것은 아무도 의심할 여지가 없다고 생각되며, 오늘날에 와서는 가장 많은 사람들에게 신뢰 받고 있는 汚染度 評價法인 것이다. 그러나 有機質의 오염물, 먼지는 無機質과는 달리, 高温에서는 液化하여 기름의 成分으로 되고, 低温에서는 固化하여 먼지로 되고 同一溫度에서는 沈淀되어 응집(凝集) 되고, 이것을 다시 흔들어서 쉬더라도 원(元)의 치수로 는 되돌아가지 않는다. 즉 항상 치수는 不定하다.

[3] 汚染重量에 의한 오염도(汚染度) 구멍지름 0.8( $\mu$ m) 또는 0.45( $\mu$ m)의 메인브란

필터를 사용하여 100(ml)中의 먼지를 여별(濾別)하여 무게를 측정하는 方法이다. 이 方法은 필터表面을 현미경으로 관찰하면 먼지의 크기와 形狀 및 性質을 알 수 있는 특징이 있다. 그러나 메인브란필터分析에는, 필터의 눈막힘에 의한 많은 문제가 생긴다. 그림 2는 그 여과기구모형(濾過機構模型)이다. 검은색의 동그라미를 로재(濾材)로 하여 흰색의 동그라미가 큰 편을 粗粒子, 작은 편을 コロ이드粒子라고 가정할 때 原液을 化살포方向으로 흘려 보낼 때 粗粒子의 경우에는 A圖와 같이 먼지의 大小에 의하여 로별(濾別)을 할 수 있으나, B圖에서 보는 바와 같이 コロ이드粒子를 포함하는 경우에는, 최초의 로별 할 수가 있더라도 곧장 コロ이드粒子의 눈막힘의 현상으로 液体는 통하지 않게 된다. 또 C圖에서 보는 바와 같이 로재의 눈이 가느다라면 最初부터 コロ이드粒子의 눈막힘 현상이 생기며, 전혀 액체는 통하지 않게 된다.

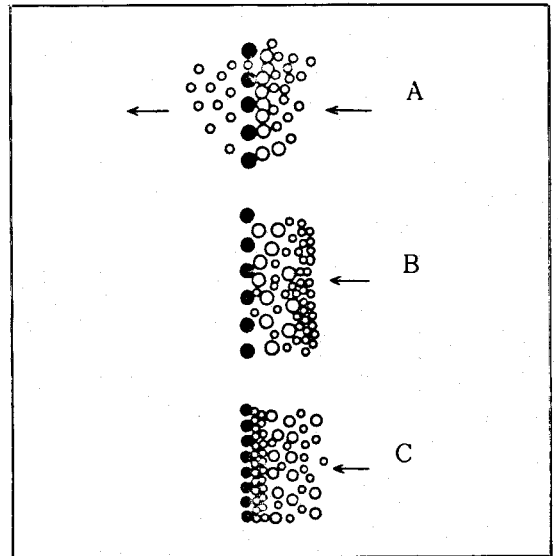
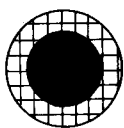
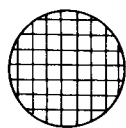


그림 2 여과기구의 模型

以上에서 메인브란필터의 分析에서는 定해진 100(ml)吸引여과 할 수 있는 粗粒子의 경우 뿐이고, 그 以外는 여과구멍치수와 여과량(濾過量)을 변경할 때에는 여과량을 약간 1(ml)으로 하는 등 일관된 分析値로는 되지 않는 것이 결점이

다. 또 한편으로는 粒子數分布에 의한 汚染度等級이 동일한 것에 대하여, 이 方法으로 측정값을 비교하면 表5의 例에서 보는 바와 같이 여과한 기름과 靜電淨化한 기름으로서는 NAS等級은 同一 NAS 6級이라도, 膜브란필터에 濾別된 먼지의 大小가 다르고, 따라서 汚染重量도 크게 다르게 된다.

表5 여과와 靜電淨油의 處理比較

試料		1		2	
處理法		濾過		靜電淨油	
用途		로보트머시인		로보트머시인	
膜브란필터					
汚染重量		mg/ml 4.2/100		≒0/100	
100 ml	μm	19652	NAS	7251	NAS
中의 粒子數	2.5~5	3964	4	8421	6
	5~15	656	4	326	3
	15~25	161	5	201	5
	25~50	76	6	44	5
	50~100	14	6	8	5
100 <					
總 合		NAS 6級		NAS 6級	

[4] 탁도(濁度)

濁度計는 투과광(透過光)을 사용하는 것과 먼지에 의한 散亂光과 透過光의 比率로서 求하는 積分球法등이 있으나, 기름과 같이 着色하고 있는 것의 測定에는 後者만이 사용되고 있다.

光源에 可視光線을 사용하고 있으므로 그 波長以下の 寸수의 먼지에서는 散亂하지 않고, 따라서 0.4[μm]以下の 먼지는 측정할수 없으나, 약간 3[ml]의 試料로서 再現性 좋게 濁도를 ppm로서 求하고, 일관된 汚染度評價가 可能하다. 그러나 이 數値만으로는 具體性이 없으므로 膜브란필터分析을 併用하면 좋을 것이다.

[4] 作動油의 靜電淨化法

[1] 原理와 構造

油中에 分散하고 있는 먼지는 陽또는 陰에 帶電 하고 있으므로 이것을 기름과 더불어 強한 電界內에 導入하여 음양(+-)의 먼지를 따로따로 油中에서 分離하는 것을 응용한 것이다. 濾터에서 除去할수 없는 코로이드粒子를 除去할수 있다는 것이 큰 특징이다.

보통은, 기름탱크에서 펌프로서 電界탱크에 기름을 導入하여 淨化하는 方法을 사용하고 있는데, 여기에서는 기름탱크중에 電界槽을 投入하여, 高電壓에 의한 電界에서 生기는 기름의 流動을 이용하여 펌프를 사용하지 않고, 淨化하는 例를 설명한다.

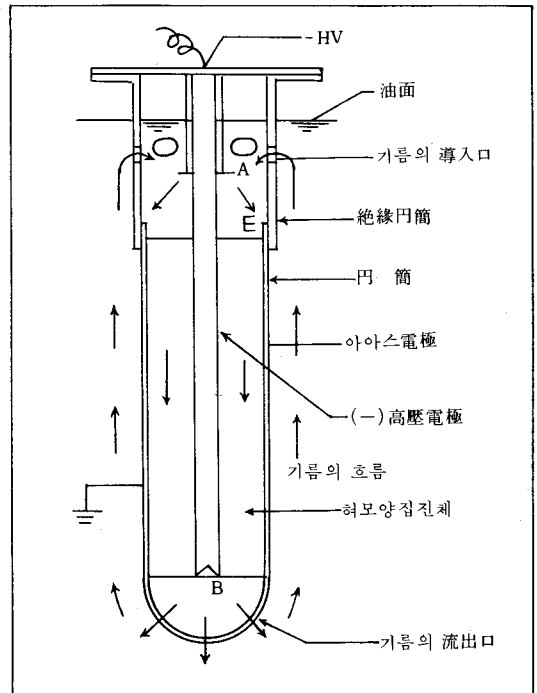


그림3 油槽內 設置된 靜電淨化機

어느 自動車 工場의 20.0[l]以下の 油槽을 가진 工作機械의 기름탱크에, 그림3에 도시한 바와 같은 圓筒形의 電界槽을 沈積[沈積]시킨것

을 기름탱크에 아아스(earth) 하여 이 圓筒의 中心에 尖端을 銳角으로 한 高壓電極円棒을, 허모양의 放射形 집진체를 中間에 끼여 配置하여 高電壓을 加하면 기름은 電界의 힘을 받아서 그림의 화살의 方向으로 流動하여 기름탱크와 電界槽의 사이에 순환하고, 그 사이에 먼지는 기름탱크와 油壓回路에서 電界槽에 들어가는 동시에 허모양 集塵體에 捕集되어, 油壓系全體가 항상 淨化된다.

이 方法의 特색은 펌프가 필요없고, 구조가 간단하고 電力도 50W, 염가라는 것이다. 그러나, 기름탱크를 깊게 설계해야 한다는 것과 電界槽의 부착, 탈착할 수 있도록 直徑 80(mm) 以上の 구멍을 기름탱크에 필요하다는 것이고, 보통은 에어프리저구멍을 兼用하기도 한다. 좌우간 向後는 모든 사이즈의 기름탱크에 이와 같은 펌프 不要의 靜電淨油機가 부설되고, 기름의 트라블은 해소될 전망에 있다. 그림 4는 기름탱크內에 設置하는 靜電淨化機이다.

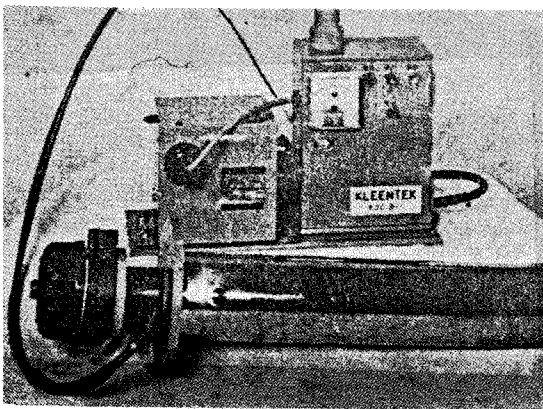


그림4 기름탱크內에 설치되는 靜電淨化機

〔2〕適用效果

기름을 淨化시키는 것의 메리트는, 기계 고장 감소에 수반하는 경제적인 效果를 제일먼저 들 수 있고 다음에 電力費의 절감, 그리고 油代金의 절감이다. 그 比率은 1965년경 英國의 트라이보르지 委員會의 報告에 의하면

운환손실:動力損失:保全費=1:9:90으로 되어 있고, 그 波及效果가 아주 크다는 것을 推定된다. 또 自動車관련회사에서의 5年間에 걸친 면밀한 조사에 依하면 表 6에서 보는 바와 같은 結果로 되고 이 회사 의 매상액 年間 200億圓에 對하여 적어도 이 조사表에서는 年間 1億圓 以上の 경비가 절감되고, 더욱이 눈에 보이지 않는 效果로서 제품의 精度向上, 기계수명의 延長, 電力費의 減少등을 감안하면, 그 波及效果는 더욱 더욱 增大되고 더 한층의 生産가격을 절감하려면 運轉관리가 아주 重要하다는 것을 알수가 있다.

表 6 運轉고장에 依한 損失調査表

조 사 항 목	당초(當初)	5 年 後
기름의 消費量(Kℓ)	110	35
運轉고장정지시간(潤滑故障停止時間)(Hr)	1730	202
1 대당의  정지시간(Hr)	34	3.6
펌프고장[臺]	26	1

(다음호에 계속)