

TV-게임 감각으로 광학설계

글: 이사가미 다케시 고문/코노광학렌즈(주)

제가 광학설계를 시작하기도 35년이 지났습니다. 그동안 광학설계의 환경은 크게 변화되었습니다. 35년전과 현재의 광학설계의 가장 큰 차이는 계산기기의 발달에 있습니다. 요즘의 설계담당자에게는 믿어지지 않겠지만, 당시의 계산이라 하는 것은 주산, 수동계산기를 활용하였고, 좀 나은 회사에서는 전동계산기가 주류를 이루고 있어 현재, 탁상용 PC로 몇분 혹은 몇초 이내에 결과를 얻을만한 계산이라도, 며칠 혹은 몇개월이라는 단위의 시간을 필요로 하였습니다.

현재와 같이 성능평가도 할 수 없어, 설계된 렌즈는 시험제작을 해보지 않고는 충분한 평가를 할 수 없었습니다.

급속한 전자계산의 발달은, PC로도 10년 전의 대형 계산기의 능력을 뛰어넘고 있습니다. 이를 바탕으로 많은 프로그램이 개발되어 발달하였으며, 최적화의 수단도 개량되어 광학설계를 특별한 기술로부터, 일반적인 기

술영역으로 계속 변화시켜오고 있습니다.

이러한 환경의 변화로 인해, 요즘에는 적절한 계산수단 없이는 광학설계는 생각할 수도 없게 되었습니다.

광학설계의 소프트도, 여러 종류가 개발, 발매되고 있어 미경험자라도 어떠한 광학설계가 가능케 된 것도 사실입니다. 그렇지만 수단, 환경은 크게 변화했어도, 광학설계의 시행착오적인 면은 본질적으로 변하지 않았다고 생각합니다.

계산기에서 산출되는 막대한 정보도 이용하는 사람의 지식정도, 판단력의 정도에 따라서는, 구분표시가 없는 사전을 보고 있는 것처럼 됩니다. 그것보다도 설계의 초기단계에서는, 예측가능한 적은 정보 쪽이 의의가 있을 때가 많습니다.

과거, 계산수단이 빈약했던 시대에는, 설계의 초기단계에서, 완성까지의 예측이 가능한지 여부를 결정짓는 것은, 경험의 문제였으며, 저도 선패의 조언이

딱 들어맞아 그것이 마법의 언어처럼 들렸던 적도 있었습니다.

자기 자신의 경험도 그렇습니다만, 발표되어진 많은 사례에 대해서는 과학적으로 체계적 정리 및 이해를 하고 있는지 아닌지가 그 기술자의 자질을 결정한다고 생각합니다.

이러한 것은, 계산수단이 발달한 현재에도 적용되는 사실입니다. 기본적으로 충분히 검토된 기초데이터를 계산기의 최적화에 맡기는 경우와, 막연히 데이터를 최적화할 경우 결과에 있어서는 커다란 차이를 나타냅니다.

그러한 의미에서 수차론의 이해와 이용에 반드시 주의를 기울여 주시기 바랍니다. 참고문헌으로는 여러가지 있으나, 일본 출판물에서는 다음의 서적이 가장 이해하기 쉽고, 실용적입니다. 꼭 읽어보시기를 바랍니다.

「렌즈 설계법」(마쯔야 요시아 박사 지음, 공림출판(주))

이 책에도 몇군데 서술되어 있

으나, 3차 수차의 계산은 매우 쉽게 되어 있어 적은 계산량으로 대충 예측을 하려할 경우 지극히 편리합니다.

결점은 실제 결과와 합치하는 정확도인데 만족치 못할 경우에는 이 책에 소개되어 있는 5차수 차까지 고려해보면 좋을 것입니다(복잡하게 보이나 용이하게 계산할 수 있습니다).

3차수차의 이용은, 설계하고자 하는 광학계의 예측을 할때에도, 또한 기존 렌즈의 최종성능을 추정할 때에도, 적은 계산량으로 단시간에 가능하므로 광학계의 체계적 이해에도 최적입니다.

수차론의 응용은 광학계의 예측을 세운 후에 크게 효과가 있지만, 현실적으로는 그리 쉬운 일이 아니며, 설사 이해한다해도 현실적으로 광학계를 구성하는 요소의 변화에 대해 각종 수차가 늘 같은 모양으로 또 직선적인 변화를 하는 것이 아니라는 현실이 많은 사람들을 좌절케 하는 원인이 되고 있습니다. 결과적으로 많은 설계담당자들이 단순히 계산만 하는 사람으로 되어버리고 맙니다. 그 중에는, 「수차론은 낡은 것, 순식간에 계산이 가능한 것이므로 최종결과의 평가로 계속 진행시켜야 한다」고 말하는 분도 있으나, 결과에 대한 본질적인 이해가 따르지 않으므로 정리, 확립된 기술로 발전하지 않는 것입니다.

여기에서 발표하는 프로그램(ABRATON.BAS)의 내용은 얇은 두께의 단렌즈로 구성된 광학계에 관하여, 광학계를 구성하는 변수요소, 면곡률, 촛점거리, 면간격, 굴절률, 분산치 등의 값을 원하는 범위에서 연속적으로 변화시켰을 경우, 각종 수차(3차)가 어떻게 변화하는가를 그래프로 표시하는 것입니다.

이 프로그램을 사용하는 것으로서 수차론의 이해가 가능하게 된다는 것은 아니지만, 계의 형상과 수차와의 관계를 시각적, 감각적으로 포착할 수 있으므로 좌절하지 않도록 하는 역할은 할 수 있다고 생각하며, 수차에 대해서는 동시에 적절한 참고문헌을 참조하며, 수차의 상관관계를 감각적으로 이해하게 되므로, 수차의 이해도 용이하게 됩니다.

수차의 목표치를 설정해서 광학계의 변수를 변경해 가는 것으로, TV-게임을 하는 감각으로,

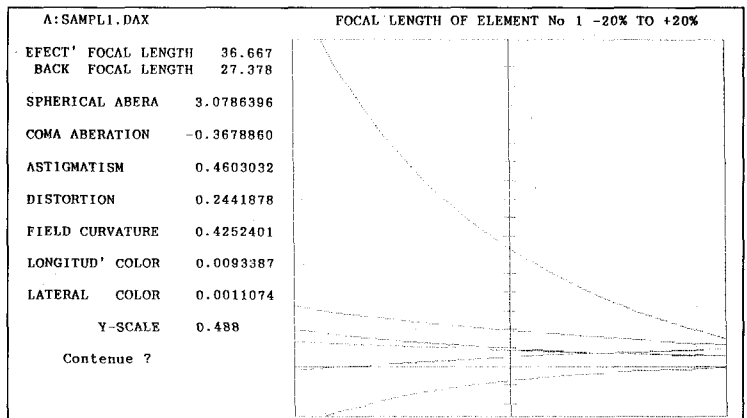
익숙해지면 간단한 렌즈 설계도 가능합니다. 그러나 본 프로그램은 광학설계 프로그램이 아니라, 본래는 수차의 이해를 위한 보조 수단이라는 사실을 잊지 않았으면 합니다.

렌즈 두께 변환 프로그램(CTCONV. BAS)은 얇은 두께 렌즈에 원하는 만큼의 두께를 부여하여, 실제 렌즈로 변환하는 것이며, 또한 실제 렌즈를 두께 0인 얇은 렌즈로 변환하는 것도 가능합니다.

이 프로그램은 누구라도 이해할 수 있도록 IBM PC-DOS QBASIC으로 작성하였으며, 자유로이 변경할 수 있도록, SOURCE LIST를 표시해 두었습니다.

지면사정으로 상세한 설명은 할 수 없으나, 가능하다면 자신이 직접 입력하여 작성할 것을 권합니다(이해하는데 도움이 되리라 생각).

(그림 1)



현장기고

(표 1)

a:\sampl1.dat

12-20-1996 11:42:26

No	Radii	Space	Glass Index	Abbe's Value	Focal length
1	20.0000	7.500	1.6200000	55.00	25.0000
2	-22.0000	7.000	1.6200000	35.00	-15.0000
3	50.0000	0.000	1.6200000	55.00	22.0000

Effective Focal Length = 36.6667
Back Focal Length = 27.3778

First condition U= 0.000 H= 1.000 /U=-1.000 /H= 0.000

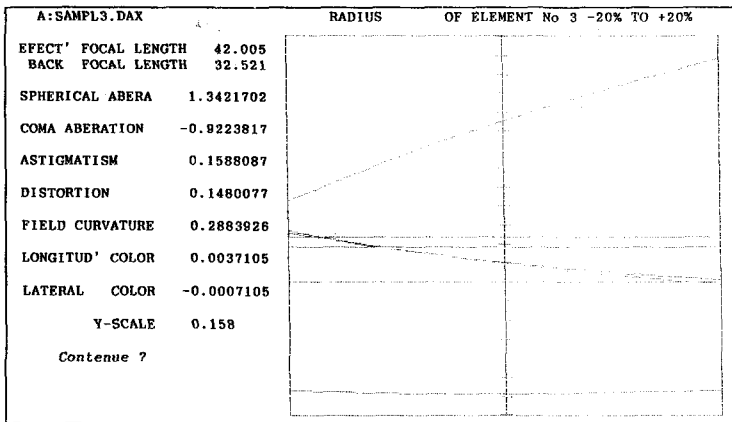
No	U'	H'	/U'	/H'	A	B	C
1	1.4667	0.7000	-1.0000	0.2045	5.5855	-1.2719	0.0267
	SA	CM	AS	DS	LC	TC	PZ
	5.5855	-1.2719	1.4667	0.0000	0.0267	0.0000	0.9053
2	-0.2444	0.7467	-1.5000	0.4909	-29.1205	4.3810	-0.0698
	SA	CM	AS	DS	LC	TC	PZ
	-6.9918	0.1036	-1.7869	-2.2083	-0.0342	-0.0100	-1.5089
3	1.0000	0.7467	-0.6818	0.4909	14.4295	-3.8533	0.0303
	SA	CM	AS	DS	LC	TC	PZ
	4.4850	0.8005	0.7805	2.4525	0.0169	0.0111	1.0288

Spherical Abe' = 3.07864 Coma Abe' = -0.36789
Astigmatism = 0.46030 Distortion = 0.24419
Field Curvature = 0.42524
Longitudinal C = 0.00933872
Lateral Chroma = 0.00110744

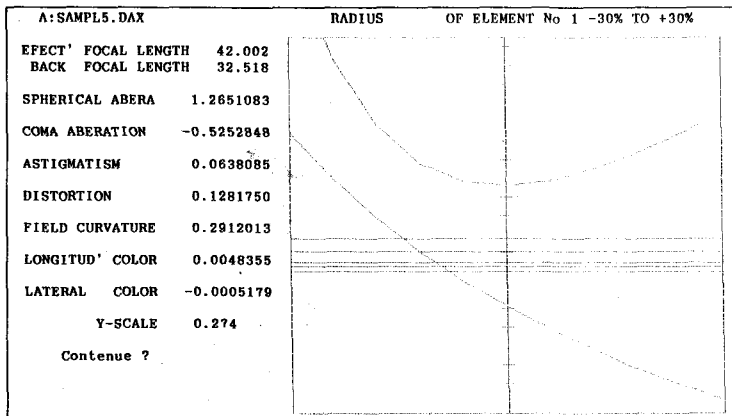
1% Bending List a:\sampl1.dat

Param	Spherical	Coma	Astigma	Distortion	Lo Chro	La Chro
ORD	3.078640	-0.367886	0.460303	0.244188	0.009339	0.001107
F 1	-0.183238	0.029583	-0.015493	0.013837	-0.000235	0.000064
F 2	0.116282	0.067804	0.029785	0.008277	0.000195	0.000030
F 3	-0.173128	-0.051520	-0.009617	-0.008142	-0.000169	-0.000111
R 1	0.048957	-0.043596	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
R 2	0.042214	-0.020031	-0.015311	-0.007238	0.000000	0.000000
R 3	0.022829	0.003962	-0.004659	-0.007839	0.000000	0.000000
D 1	0.019250	0.001384	0.003907	-0.009834	0.000094	-0.000055
D 2	0.012086	0.020121	0.006523	0.010857	0.000021	0.000072
N 1	-0.268222	0.075590	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
N 2	0.073899	0.119245	0.063379	0.031278	0.000000	0.000000
N 3	-0.203169	-0.073277	-0.008533	0.013674	0.000000	0.000000
V 1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	-0.000267	0.000000
V 2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000343	0.000100
V 3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	-0.000169	-0.000111

(그림 2)



(그림 3)



저는 프로그래밍의 전문가가 아니므로, 도처에 서툰 서술이 있으리라 생각되므로, 잘못된 점이 있으면, 서슴치 말고 가르쳐 주십시오.

표 1은 적당히 정한 3매 구성의 얇은 렌즈계의 데이터입니다. Bending List는, 각종 변수를 단독으로 1% 변화시킨 경우의 변화량을 나타내고 있습니다.

이 프로그램은 이러한 변화량에 원하는 % 만큼의 변화를 주

어 PC화면상에 그래프로써 표시하여 표를 보는 것보다도 보다 시각적, 감각적인 판단이 가능토록 한 것입니다.

초자의 굴절률이 전부 1.62로 되어 있는 것은 특별한 의미는 없으며 이 굴절률의 부근에는 V 값의 범위가 넓어 색수차를 없애기 위한 초자선택이 쉬워지기 때문입니다.

그림 1은 표 1의 계에서 제1 렌즈의 초점거리를 +/-20%

변화시킨 경우의 실행결과 화면의 Copy이며, 각종 수차의 변화되는 상태를 나타내고 있습니다.

Display에는 색깔별로 표시되어 있어서 보기가 쉽습니다.

초기시점에서는 변화량을 조금 크게 하는 편이 변화시킬 변수의 성격이 현저하게 나타나므로, 경향을 판단함에 있어 편리합니다.

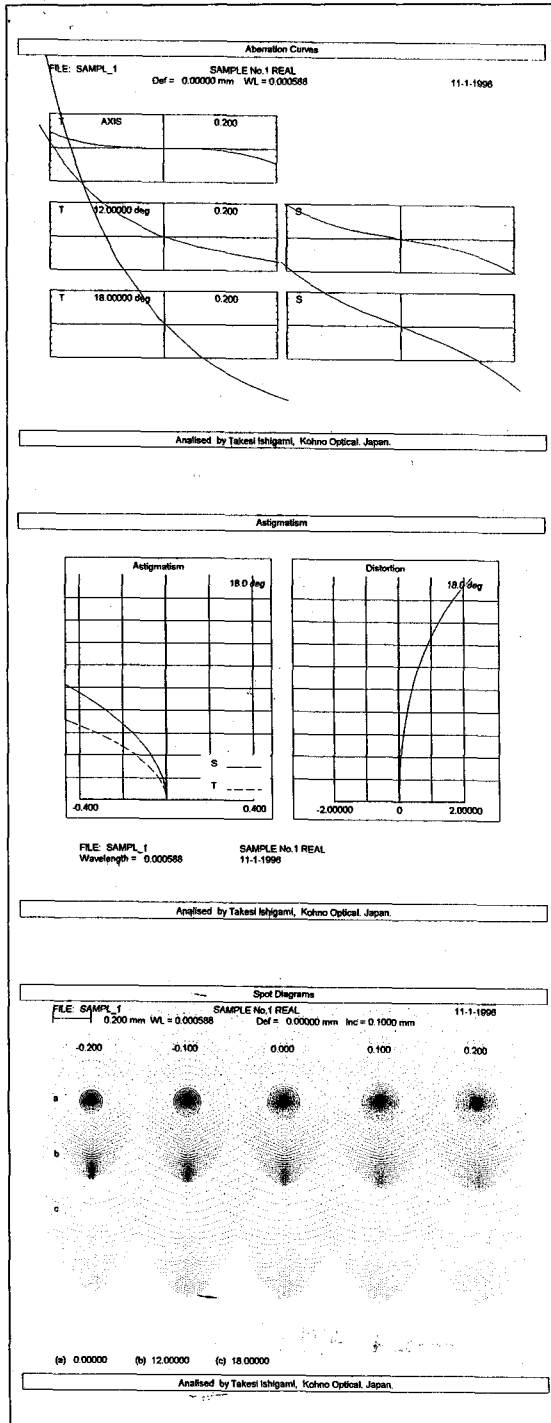
이 렌즈계를 구면수차를 1.2, 코마 수차를 -0.5, 비점수차를 0.06, 왜곡수차를 0.1, 상면만곡을 0.3이 되도록 해봅니다.

이 목표치는 실렌즈계(두께를 부여한)로 했을 때에 변화하는 양을 예상해서 결정합니다. 그 양은 렌즈계에 따라 여러가지이지만, 많은 실례를 통해 배워 얻기 바랍니다. 또한 모든 수차를 0으로 하는 것은 불가능하므로, 목적에 따라 수차를 밸런스있게 적게 하는 것이 현명합니다.

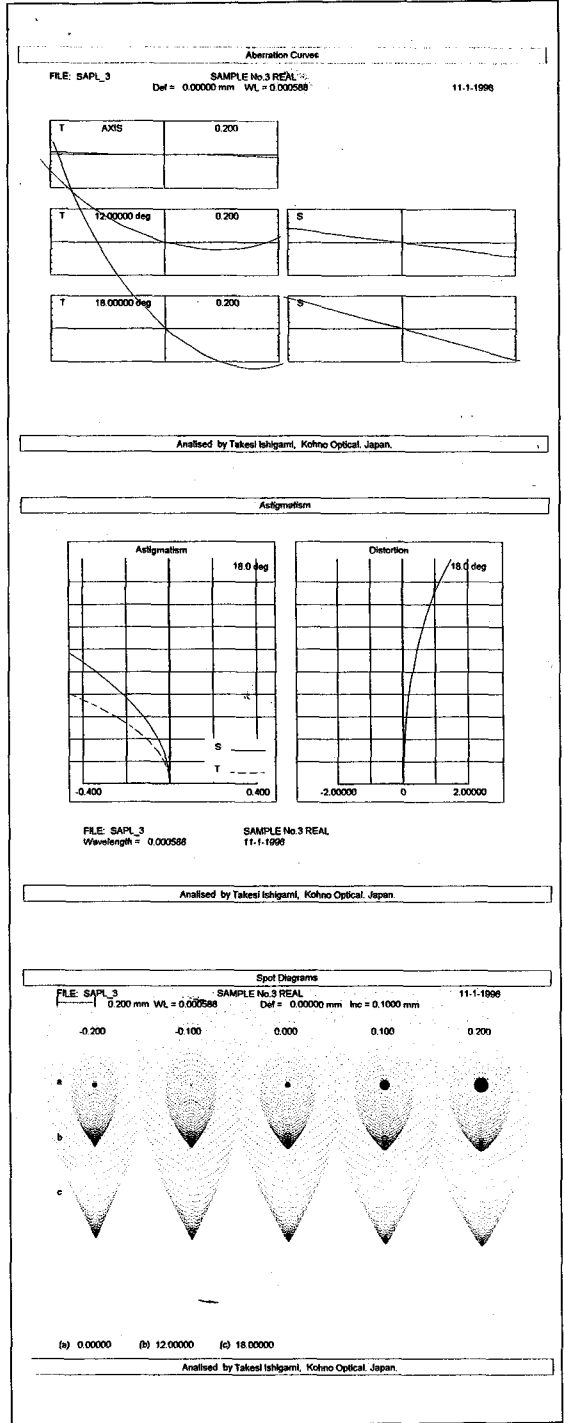
그림 1에서 제1렌즈의 초점거리를 변화시키면, 다른 수차와 비교해서 구면수차가 매우 현저하게 변화하는 상태를 이해할 수 있으며, 이는 다른 수차에 영향을 주지 않고 구면수차를 개선하는데, 유효한 수단임을 나타내고 있습니다. 이와같이 각종의 변수에 대해, 그 상태를 파악하면 그 후의 작업이 용이하게 됩니다.

표 2는 그와 같이해서 변화시킨, 도중의 경과이고, 그림 2는 제3렌즈의 곡률을 변화시킨 상태입니다.

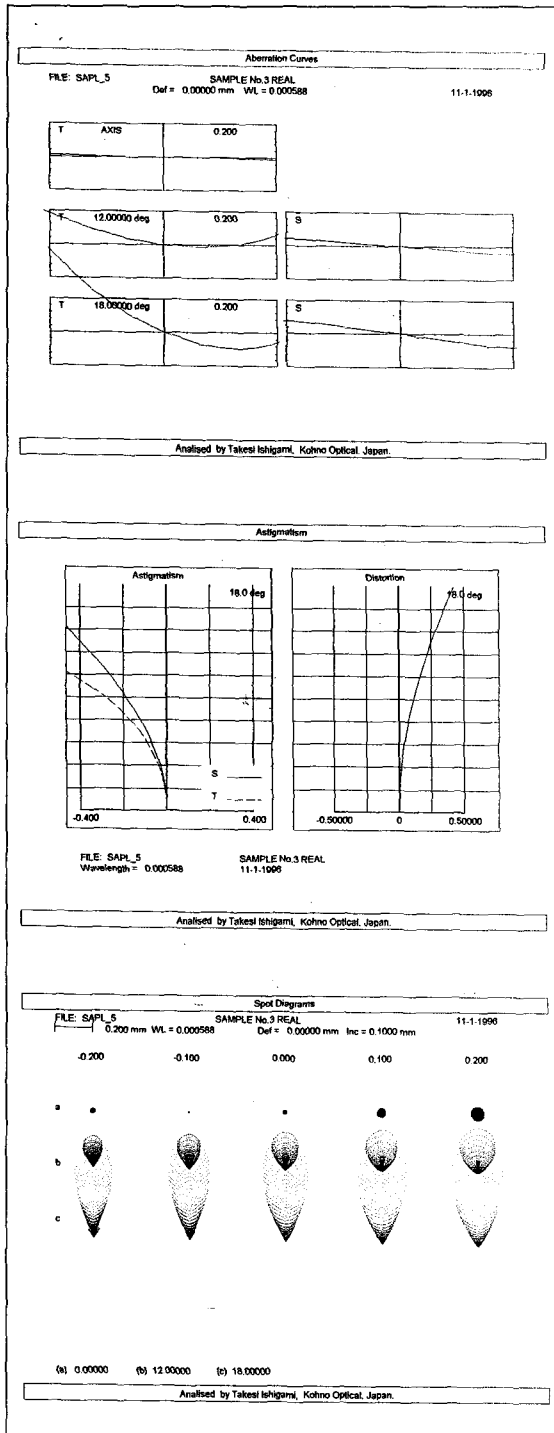
(그림 4)



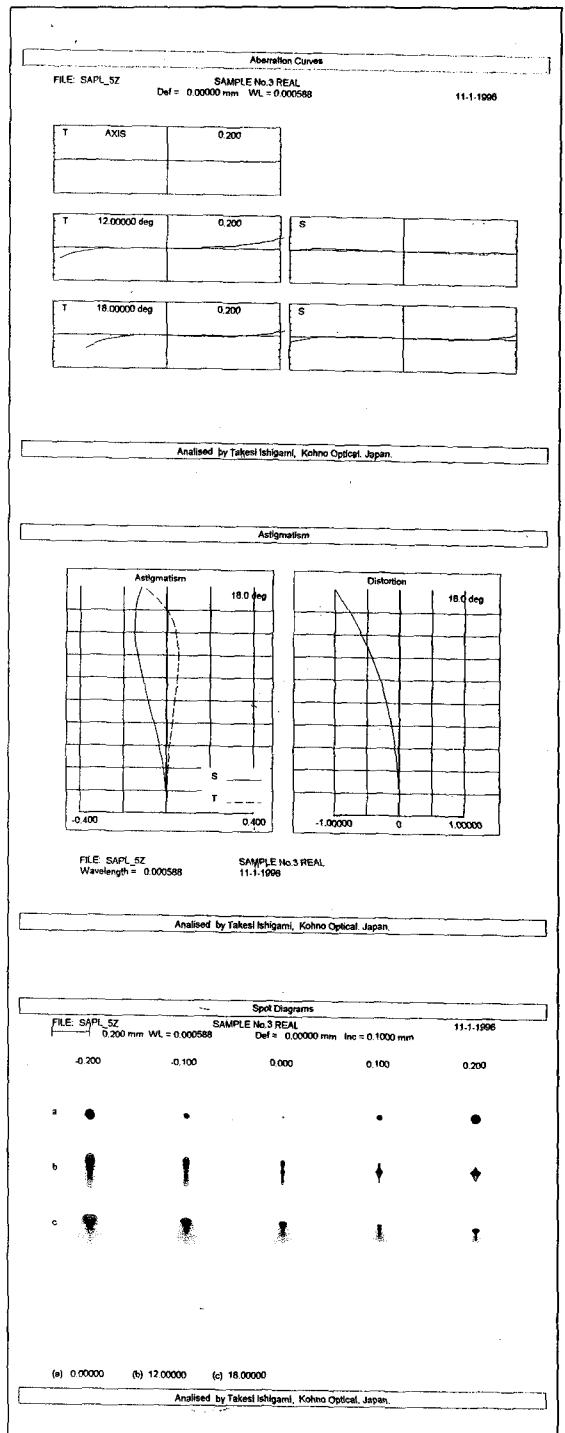
(그림 5)



(그림 6)



(그림 7)



현장기고

(표 2)

A:\SAMPL3.dat 11-29-1996 13:45:31

No	Radii	Space	Glass Index	Abbe's Value	Focal length
1	20.0000	8.260	1.6600000	58.00	26.5866
2	-22.0000	6.339	1.6540000	33.00	-13.5140
3	50.0000	0.000	1.6600000	57.00	20.8117

Effective Focal Length = 42.0048
Back Focal Length = 32.5212

First condition U= 0.000 H= 1.000 /U=-1.000 /H= 0.000

Spherical Abe' = 1.34217 Coma Abe' = -0.92238
Astigmatism = 0.15881 Distortion= 0.14801
Field Curvature= 0.28839
Longitudinal C = 0.00371052
Lateral Chroma = -0.00071049

(표 3)

A:\SAMPL5.dat 11-29-1996 13:46:53

No	Radii	Space	Glass Index	Abbe's Value	Focal length
1	17.9815	8.260	1.6583000	57.24	26.5866
2	-23.3359	6.339	1.6544600	33.64	-13.5146
3	48.1603	0.000	1.6583000	57.24	20.8117

Effective Focal Length = 42.0021
Back Focal Length = 32.5185

First condition U= 0.000 H= 1.000 /U=-1.000 /H= 0.000

Spherical Abe' = 1.26513 Coma Abe' = -0.52528
Astigmatism = 0.06380 Distortion= 0.12817
Field Curvature= 0.29120
Longitudinal C = 0.00483551
Lateral Chroma = -0.00051792

(표 4)

SAMPLE No.5 REAL File SAPL_5 11:56:38 12-20-1996
EFL = 42.002

W1(1)= 0.000588 W1(2)= 0.000656 W1(3)= 0.000486

#	TYPE	CURVE	SEPN	INDEX1	INDEX2	INDEX3	DISPN	CLRAD	GLASS
1	S	0.055728	0.0000	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000	9.00	
2	S	-0.001527	3.5000	1.65830	1.65480	1.66631	0.01150	9.00	S-LAK11
3	S	-0.042411	5.8299	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000	5.00	
4	S	0.069485	1.0000	1.65446	1.64877	1.66823	0.01946	3.68	S-SF9
5	S	0.021145	4.7940	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000	7.00	
6	S	-0.053185	3.0000	1.65830	1.65480	1.66631	0.01150	7.00	S-LAK11
7	S	0.000000	31.9945	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000	15.12	

현장기고

(표 5)

SAMPLE No.5 FINAL		File SAPL_5Z		11:58:43		12-20-1996			
EFL = 41.995		W1(1)= 0.000588		W1(2)= 0.000656		W1(3)= 0.000486			
#	TYPE	CURVE	SEPN	INDEX1	INDEX2	INDEX3	DISPN	CLRAD	GLASS
1	S	0.055877	0.0000	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000	9.00	
2	S	-0.001531	7.9800	1.65830	1.65480	1.66631	0.01150	9.00	S-LAK11
3	S	-0.042411	3.1790	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000	5.00	
4	S	0.069484	1.0000	1.65446	1.64877	1.66823	0.01946	5.00	S-SF9
5	S	0.000000	2.5240	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000	3.85	
6	S	0.021138	2.2940	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000	7.00	
7	S	-0.053169	3.0000	1.65830	1.65480	1.66631	0.01150	7.00	S-LAK11
8	S	0.000000	32.0104	1.00000	1.00000	1.00000	0.00000	15.12	

표 3은 표 2의 결과에 초자가 탈로그에 실재하는 초자를 채택하여, 화면상에서 변수를 조절하면서 수차가 초기 목표치로 된 것입니다.

그림 3은 표 3의 제1렌즈의 곡률을 30% 변화시킨 결과로 구면수차, 코마수차 모두 현재값이 목표에 대해 적절하다는 것을 나타내고 있고, 또한 한방향에서는 직선성이 없어지는 경향이 있음을 나타내고 있습니다.

표 4는 이와같이 하여 결정된 얇은 렌즈계를 렌즈두께 변환프로그램으로, 실제 렌즈계로 한 자료입니다. 어느정도의 두께로 할 것인가는, 주변두께(지붕두께) 등을 고려해서, 제작하는데 잘 들어맞도록 해서 결정합니다.

그림 6에서는 그 렌즈계의 스폿 다이어그램을 표시하고 그림 4와 5는 앞서 표시한 도중의 경과상태로 실제 렌즈계로 한 결과의 스폿입니다. 비교해보면 수차가 개선된 상태를 알 수 있으리라 생각합니다.

표 5는, 표 4의 데이터의 제1 렌즈에 두께를 부가하여 개선한 결과입니다.

그림 7은 그 결과의 스폿이며 실용할 수 있는 범위로 개선되어 있습니다.

조작에 익숙해져서 많은 사례를 경험하는 것으로, 효과적으로 수차론에 대한 이해가 쉽게 되리라 사려되나, 전술한 바와같이 본질적이고 시행착오적인 부분이 많아 중도포기하기 쉬운 것도 사실입니다. 계속해서 해보는 것이 가장 중요하며, 한국속담에 있는 것처럼 「시작이 반」입니다. 우선 해보는 것입니다. 그러나 중도에서 그만두는 것은, 「죽도 밥도 되지 않는」 것입니다.

Q-BASIC은, SCREEN COPY가 되지 않으므로, 설명에 사용한 그래프는 다른 언어로 쓰여진 출력결과로 실제와는 약간 차이가 있습니다. 실제 표시는 수차마다 색을 구분하여 보기 쉽도록 되어 있습니다(Q-BASIC에서 SCREEN COPY를

COLOR PRINTER로 실행하는 방법을 알고계신 분은 연락주시시오).

이 프로그램을 작동하려면, Q-BASIC의 SYSTEM이 필요합니다. IBM PC-DOS를 사용하고 있다면, DOS 디렉토리에 있습니다.

사용 중인 시스템에 Q-BASIC. EXE가 없는 경우에는 마이크로 소프트사의 Q-BASIC을 입수하면 됩니다.