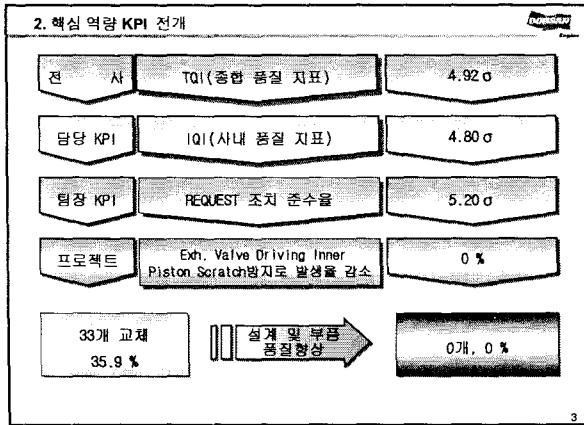


1. 프로젝트 등록서

프로젝트구분	SA	SB	0	0
관리 KPI명	EXH. VALVE DRIVING INNER PISTON SCRATCH 방지			
구분	연수준	목표수준	특성	CTO
IQI	4.80σ	4.80σ	C, P, T, Ps	Scratch 발생 감소
구분	기여율	소속 팀	최근 실적	성원
라더	30%	QA팀	역사	김신봉 GB
팀원	20%	QA팀	최재	김홍우 GB
팀원	15%	QA팀	내리	홍승우 GB
팀원	15%	OS팀	내리	한상호 GB
팀원	10%	본체설계팀	최장	김광훈 GB
팀원	10%	공용기계R&GA	최장	김태문 GB
합계	100%			
연성목표	연간 운전시 EXH. VALVE DRIVING INNER PISTON SCRATCH 피해 시공현황 및 관리시공현황을 통한 RT Flex에 동시 Inner Piston Scratch 발생으로 인한 Inner Piston 교체건수 ZERO에 도전		RT Flex에 동시 Inner Piston Scratch 발생으로 인한 Inner Piston 교체건수 ZERO에 도전	
배경	연간 운전 후 스크래치 발생 여부를 확인하기 위하여 inner piston에 있던 overhaul로 인한 추가 공수 투입 발생			
현상 및 문제점	발생사에서 개선활동 추진에 적극적인 협조가 필요함		신용성	EMS → 품질정보 → NCR → 고객제안수



D-1. Theme 선정 배경

- > Inner Piston Scratch 발생으로 인한 고객품질 신뢰도 감소
- > Scratch 발생으로 인한 잦은 Overhaul로 인한 추가공수 발생
- > Inner Piston 부품품질 향상

구분	연수준 파악	구분	현상 및 문제점	구분	목표 및 달성방안
교체율	9대(92 ea) 공식 시운전 중 Scratch 발생으로 인하여 7대분 Inner Piston 교체 ✓ 교체 건수 : 33건	정량	2004년 4월 이후 9대 공식 시운전을 수행하였으나 근본적인 원인 분석 및 재발방지 미흡으로 지속적으로 발생될 우려가 있음	정량	목표 발생률 : 0%
품질수준	35.9%	정성	✓ Inner Piston 교체로 인한 고객불만 증가 ✓ 잦은 Overhaul검사로 인한 추가공수 발생	정성	✓ Inner Piston의 가공 정도 검토 및 향상 ✓ Chemical Composition 검토 ✓ 설계검토 및 구조변경

D-2. Driving Inner Piston Scratch 발생 현황

Hull No	Number of Cylinder	발생 건수	Date of Shop Test	Remark
APML 0193	8	0	'04.04.09	
APML 0194	8	0	'04.05.22	
APML 0195	8	5	'04.07.08	
APML 0196	8	3	'04.08.24	
APML 0197	12	2	'04.10.18	
APML 0198	12	4	'04.12.24	
APML 0199	12	2	'05.03.31	
APML 0200	12	12	'05.08.08	
APML 0201	12	4	'05.07.04	
Total	92	33		발생률 : 35.9%

2004년 4월 이후 9대의 RT Flex연전(APML Project)에 대하여 공식 시운전을 수행한 결과 7대 33 ea에 Scratch가 발생되었으며 Inner Piston 교체 또는 교체가 예상됨.

동일 Type으로 제작된 Inner Piston은 근본적인 원인 분석 및 재발방지 대책수립 미흡으로 인하여 특별한 조치를 취하지 않으면 향후 Project에서도 지속적으로 발생될 우려가 높음.

M-1. Data 수집

- > 수집기간 : 2004년 4월 ~ 2005년 7월(11년간 4개월)
- > 수집대상 : 당사 제작 납품한 모든 RT Flex(APML Project) 엔진
- > 수집방법 : EMS → 품질정보/e-TOPS → ORI, ORI 발행현황 / 기술자료 협력사 방문조사.

* Data 수집부문 및 수집계획

No	Data 수집내용	수집자	수집기간	수집방법	비고
1	수행Project 및 Scratch 발생현황 조사	김종호	04.04-05.07	EMS 품질정보	M-1(1)
2	Inside Piston작동원리 분석	김광훈	04.04-05.07	기술자료 입수	M-1(2)
3	Inside Piston Scratch 발생시간 수집	송승훈	04.04-05.07	기 수행 자료 수집	M-1(3)
4	설계변경 History 검토	김광훈	04.04-05.07	설계자료 입수	M-1(4)
5	Inside Piston 구조방법 개선 사항	한상호	04.04-05.07	협력사 자료 입수	M-1(5)
6	재용 조직역사 보고서 검토	김신봉	04.04-05.07	협력사 검사역서	M-1(6)
7	치수검사역서 검토	한상호	04.04-05.07	협력사 검사역서	M-1(7)
8	Material Test Report 검토	한상호	04.04-05.07	협력사 검사역서	M-1(8)
9	Heat-Treatment Inspection Report 검토	김신봉	04.04-05.07	협력사 검사역서	M-1(9)
10	제작도면 검토	김종호	04.04-05.07	EMS 설계정보	M-1(10)
11	비파괴 검사(MT) 보고서 검토	김종호	04.04-05.07	협력사 품질정보	M-1(11)

M-1. Data 수집

1) 수행Project 및 Scratch 발생현황 조사

Hull No	Number of Cylinder	발생 건수	Date of Shop Test	Remarks
APML 0193	8	0	'04.04.09	
APML 0194	8	0	'04.05.22	
APML 0195	8	6	'04.07.08	
APML 0196	8	3	'04.08.24	
APML 0197	12	2	'04.10.18	
APML 0198	12	4	'04.12.24	
APML 0199	12	2	'05.03.31	
APML 0200	12	12	'05.06.08	
APML 0201	12	4	'05.07.04	
Total	92	33		발생률 : 35.9 %

동일Type 으로 제작된 Inner Piston은 근본적인 원인 분석 및 재발방지 대책수립 이후인 인하여 특별한 조치를 취하지 않던데 향후 Project 에서도 지속적으로 발생을 우려가 높음.

2004년 4월 이후 9대의 RT Flex엔진(APML Project)에 대하여 공식 시운전을 수행한 결과 7대 33 ea에 Scratch가 발생되었으며 Inner Piston 교체 또는 교체가 예정됨.

M-1. Data 수집

2) Inside Piston 작동원리 분석

200 Bar의 System 에 이 유입되면 먼저 Outside Piston을 하강 시킨 다음 Inside Piston과 Outside Piston이 동시에 유동적으로 작동함.

M-1. Data 수집

3) Inside Piston Scratch 발생사진 수집 (1/3)

CYL	Outside piston 외경	Outside piston 내경	Inside piston 내경
No. 2			
No. 3			

APML 0195 Confirmation Test후 분해 결과 Outside 외경, Outside 내경 및 Inside Piston내경의 Scratch 발생현황 조사 (Cylinder No 2 & 3)

M-1. Data 수집

3) Inside Piston Scratch 발생사진 수집 (2/3)

CYL	Outside piston 외경	Outside piston 내경	Inside piston 내경
No. 4			
No. 5			

APML 0195 Confirmation Test후 분해 결과 Outside 외경, Outside 내경 및 Inside Piston내경의 Scratch 발생현황 조사 (Cylinder No 4 & 5)

M-1. Data 수집

3) Inside Piston Scratch 발생사진 수집 (3/3)

CYL	Outside piston 외경	Outside piston 내경	Inside piston 내경
No. 6			
No. 6			

APML 0195 Confirmation Test후 분해 결과 Outside 외경, Outside 내경 및 Inside Piston내경의 Scratch 발생현황 조사 (Cylinder No 5 & 6)

M-1. Data 수집

4) 설계변경 History 검토

Rev	Outside Piston	Inside Piston
Rev. 3		
Rev. 4		

변경 사항	APML 0200, 0201호선은 Piston Ring면 제거(WCH)	Piston Ring Groove삭제
작업 공사	APML 0200, 0201(Without Piston Ring)	APML 0202 (비호 호선)

Outside Piston 및 Inside Piston 설계변경 History 조사 : Outside Piston의 경우 APML 0200, 0201 호선부터 Piston Ring 제거, 0202호선부터는 Piston Ring Groove 삭제함.

M-1. Data 수집

5) Inside Piston 주조방법 개선 사항

상기 그림과 같이 주조방안 현상을 이용하여 Die 120도를 사용하여 하면 부터 주입할 수 있도록 개선, 재봉 주입수량은 플라스틱의 크기에 따라 6-10개는 조절 하여 주입함.

13

M-1. Data 수집

6) 재봉 조직검사 보고서 검토(1/2)

구분	Hardness	구분	Hardness
#1	H182.17	#11	H182.15
#2	H182.03	#12	H182.16
#3	H182.13	#13	H182.11
#4	H182.10	#14	H182.21
#5	H182.19	#15	H182.19
#6	H182.14	#16	H182.14
#7	H182.12	#17	H182.13
#8	H182.10		
#9	H182.10		
#10	H182.16		

Inside Piston의 품질 특성을 확인하기 위하여 열처리 방법 및 인화검사를 통하여 재봉 조직 검사 및 분포 경도 측정 실시 (Hardness Spec : HB180-300)

14

M-1. Data 수집

6) 재봉 조직검사 보고서 검토(2/2)

- 화학성분

Charge No	C	Si	Mn	P
5-0707	2.65	2.23	0.362	0.03
-11	S	Mg	Ca	Se
	0.009	0.05	0.99H	0.037

- 경도측정

구분	#1	#2	#3	#4
경도(HB)	241	238	236	230

- 제품사진

Inside Piston (FCD700) 제품 조직을 확인하기 위한 화학성분 분석 및 경도 측정 분석

각 부위별 석출관계를 위하여 ID Marking 및 각 부위별 분석 후 연대경 조직사진 촬영 및 해당 경도

15

M-1. Data 수집

7) 치수검사성적서 검토

APML G200 Inside Piston에 대하여 재처리(22-013474) 및 공정도에 따른 기공 가공 준수 여부 점검을 위한 치수검사기록서, 측정값이 정교성 여부, 검사자 자격여부, 기공공차 준수 여부 점검

16

M-1. Data 수집

8) Material Test Report 검토

Inside Piston의 재료 견인성을 확인하기 위하여 Mill Maker (세화 엔지니어링) 에서 제공된 Material Test Report를 Material Spec(FCD700, JIS G5502)에 따른 Tension Test, Chemical Composition, Pearlitic content 확인

17

M-1. Data 수집

9) Heat-Treatment Inspection Report 검토

Inside Piston의 재료 견인성을 확인하기 위하여 열처리 일정(하와 경과)의 열처리노 교정상태, 열처리시간 자격 여부, 온도기록, 온도 지시계 교정여부 확인 및 Holding Temperature, Holding Time 준수여부, 화합물 측정 및 경화층 깊이 준수여부 확인

18

M-1. Data 수집

10) 제작도면 검토

Inside Piston 및 Outside Piston의 도면이 개경변로 관리가 되고 있는지 확인.
기술서의 발행된 기술자료 또는 설계형에서 개경변 도면이 협력사의 제작현장에 즉시 배포되어 제작에 적용되고 있는지 확인

M-1. Data 수집

11)비파괴 검사(MT) 보고서 검토

Inside Piston의 열처리 후 기재 건전성을 확인하기 위한 Magnetic Particle Test의 유효성을 확인하기 위하여 비파괴검사 업체(공산기술검사)에서 발행한 비파괴 검사보고서 검토, 비파괴 검사자 자격부여, 검사장비 관리경 여부, 측정Spec의 준수여부 등을 확인함.

M-2. 현수준 파악

Product/CED/Process	Defects	Units	Op	Total Op	DPU	DPO	DPMO	Shift	Long Term Capability	Sigma
	D	U	OP	TOP	DPU	DPO	DPMO	Shift	Sigma	Z.B
APML 0193	0	1	8	8	0.0000	0.000000	0	1.5	1.39	2.88
APML 0194	0	1	8	8	0.0000	0.000000	0	1.5	1.39	2.88
APML 0195	6	1	8	8	0.75000	0.750000	750000	1.5	-2.07	0.85
APML 0196	3	1	8	8	0.37500	0.375000	375000	1.5	0.92	1.82
APML 0197	2	1	12	12	0.16667	0.166667	166667	1.5	0.97	2.47
APML 0198	4	1	12	12	0.33333	0.333333	333333	1.5	0.43	1.33
APML 0199	2	1	12	12	0.16667	0.166667	166667	1.5	0.97	2.47
APML 0200	12	1	12	12	1.00000	1.000000	1000000	1.5	-2.92	-1.02
APML 0201	4	1	12	12	0.33333	0.333333	333333	1.5	0.43	1.33
Grand Total	35		92	92	0.38043	0.380430	380430	1.5	0.35	1.86

Input Fields

D	Total Number of Defects	Scratch 발생 Cylinder 수
U	Total Number of Units	공시연진 대수
OP	Number of Opportunities	해당연진 Cylinder 수
Shift	Sigma Shift (Default: 1.5)	

Calculated Fields

TOP	UFOP
DPU	DU
DPO	DTOP = D/UFOP
DPMO	DPO * 1000000

2004년 4월부터 7월까지 공석 시운전을 수행한 9대의 RT Flex 엔진(APML Project)에 대하여 조사한 결과 7대 33 ea에 Scratch가 발생되어 현수준은 1.86σ로 파악되었음.

M-3. 개선 목표 설정

Product/CED/Process	Defects	Units	Op	Total Op	DPU	DPO	DPMO	Shift	Long Term Capability	Sigma
	D	U	OP	TOP	DPU	DPO	DPMO	Shift	Sigma	Z.B
8 RT Flex	0	2	8	16	0.0000	0.000000	0	1.5	1.72	3.22
10 RT Flex	0	4	10	40	0.0000	0.000000	0	1.5	2.12	3.66
12 RT Flex	0	8	12	96	0.0000	0.000000	0	1.5	2.48	3.95
14 RT Flex	0	5	14	70	0.0000	0.000000	0	1.5	2.50	4.00
Grand Total	0		24	24	0.000000	0	1.5		2.79	4.29

Input Fields

D	Total Number of Defects	Scratch발생 Cylinder 수
U	Total Number of Units	공시연진대수(U)
OP	Number of Opportunities	해당연진 Cylinder 수
Shift	Sigma Shift (Default: 1.5)	

Calculated Fields

TOP	UFOP
DPU	DU
DPO	DTOP = D/UFOP
DPMO	DPO * 1000000

공시 연진대수는 2005년 11월부터 2006년 10월까지 공시 예상대수로서 APML0456, APML0202, MSC4111, APML0203, APML0460, CSAV0827, APML0204 등 특정 부품 포함한 공시 예상 연진대수임.

M-4. 개선 목표 설정

현수준 1.86σ (36.8%)

목표수준 4.29σ / 0%

2.43σ 개선

목표설정: 현수준 1.86σ(36.8%)에서 2.43σ 향상된 4.29σ(0 PPM)로 무결점으로 목표 설정

A-1. 잠재원인 선정

부	잠재원인	도출 방법	담당자	시행 일자
Design Improvement	Inner Piston 설계개선	GB	김광용	A-1.1)
	Outside Piston 설계개선	GB	김광용	A-1.2)
Process Control	비파괴검사 Process	GB	한상호	A-1.3)
	차수검사 Process	GB	한상호	A-1.4)
	열처리 Process	GB	송승연	A-1.5)
Material Verification	지재 조적검사 건전성	GB	김홍표	A-1.6)
	지재 건전성 검토	GB	김신연	A-1.7)

잠재인자 도출을 위하여 설계개선 부문, 제작Spec 준수여부 확인을 위한 공정관리 부문 및 소재의 건전성 확인을 위한 소재 부문으로 나누어서 잠재인자 및 개선사항을 도출하기 위하여 각 항목별 담당자를 선정하여 활동함.

A-1. 잠재원인 선정

1) Design Improve for Inner piston

	Rev. 0	Rev. 1
Inside piston		
변경사항		Oil groove 확대 Edges sharp → Polished
적용공사		APML 0193 이후 호선

Inside Piston 설계개선 사항을 검토하기 위하여 최근 개정History를 조사한 결과 Oil Groove 확대 Oil Groove 형상 개선 등 설계변경 사항 적용으로 Scratch 발생 현상을 개선할 여지가 있는 것으로 판단되며 실선 적용 결과에 주시할 필요가 있는 것으로 판단됨.

A-1. 잠재원인 선정

2) Design Improve for Outside piston(1/2)

	Rev. 0	Rev. 1	Rev. 2
Outside piston			
변경사항		Oil groove 확대 Edges sharp → Polished	• Inside piston guide 길이 확대 (70 → 79) • Inside piston과 Clearance 축소 (0.06-0.115 → 0.06 -0.102)
적용공사		APML 0193 - 0198	APML 0199, 0200, 0201

Outside Piston 설계개선 사항을 검토하기 위하여 최근 개정History를 조사한 결과 Oil Groove 개선, Inside Piston Guide 길이 확대 등 설계변경 사항 적용으로 Scratch 발생 현상을 개선할 여지가 있는 것으로 판단되며 실선 적용 결과에 주시할 필요가 있는 것으로 판단됨.

A-1. 잠재원인 선정

2) Design Improve for Outside piston(2/2)

	Rev. 3	Rev. 4
Outside Piston		
변경사항	APML 0200, APML 0201 호선분 Piston Ring 면 재가(WCH)	Piston Ring Groove삭제 끝단 부위 Polished 처리
적용공사	APML 0200, 0201(Without piston ring)	APML 0202 이후 호선

Outside Piston 설계개선 사항을 검토하기 위하여 또한 개정 History를 조사한 결과 Oil Groove 개선, Inside Piston Guide 길이 확대 등 설계변경 사항 적용으로 Scratch 발생 현상을 개선할 여지가 있는 것으로 판단되며 실선 적용 결과에 주시할 필요가 있는 것으로 판단됨.

A-1. 잠재원인 선정

3) 비파괴검사(MT) Process 검토

- 검토대상

Description	Applicable Procedure	Examination Time	Surface Condition	Material Specification	Manufacturer
Inside Piston	EN 602S	After Heat Treatment	As Final Machined	EN 602S	금용기계 (주)금산기술연구소

- Check Point & Review Results

Check Point	Applicable Condition	Review Results
Magnetization	Continuous, Yoke Type	Acceptable
Method	Wet, Fluorescent	Acceptable
Current Lifting Power	AC 10 lbs	Acceptable
Pole Space	4-6 Inch	Acceptable
Demagnetization	No	Acceptable
Particle / Brand	14AM / Kyung do	Acceptable
Density	0.1 -0.5 / 100㎩	Acceptable

APML 0200 / Hull No DNL1-1574에 적용된 비파괴검사(MT) 절차서 및 검사조건을 검토한 결과 Applicable Procedure에 만족한 것으로 나타났으며 개선사항을 발견하지 못함.

A-1. 잠재원인 선정

4) 치수검사보고서 분석

- 검토대상

Description	Material	Drawing No	Manufacturer
Inside Piston	FCD 700	22-013474, Rev.0	금용기계

- Check Point & Review Results

Check Point	Acceptance Criteria	Actual			Review Results
		Cyl. 1	Cyl. 6	Cyl. 15	
D1	φ50 +0.030 / 0	+0.010	+0.015	+0.015	Acceptable
D2	φ60 +0.030 / 0	+0.020	+0.015	+0.015	Acceptable
D3	φ100 -0.05 / -0.08	-0.085	-0.065	-0.070	Acceptable
L1	125 +0.1 / 0	+0.05	+0.04	+0.04	Acceptable
S1	0.02	0.01	0.01	0.01	Acceptable

APML 0200 / Hull No DNL1-1574 Inside Piston의 주요치수부위 5개소 Check Point에 대하여 Approved Drawing에 따라 검토한 결과 만족한 것으로 나타남.

A-1. 잠재원인 선정

5) 열처리Process 분석

- 검토대상

Description	Material	Heat-Treatment Method	Manufacturer
Inside Piston	FCD 700	고주파 QT	금용기계 / KB테크

- Check Point & Review Results



Check Point	Acceptance Criteria	Actual	Review Results
Surface Condition	균열 및 표면 결함 유무	균열 및 표면결함 양호	Acceptable
H/treatment condition	170/120 Min	180°C / 130 Min	Acceptable
Hardness	HRC 53-57	54, 55, 55, 55 (4 Point Check)	Acceptable
Hard Depth	Depth(1.5mm)	0.05 0.3 0.4 0.8 1.0 1.3 1.5 1.7	Acceptable
	깊이별 경도 (Hv)	583 656 732 772 659 832 411 340	Acceptable
Distortion	-	Not Occurred	Acceptable







APML 0200, 0201 공사에 사용된 Inner Piston의 열처리 조건 등 6개 항목에 대하여 Material Acceptance Criteria 대비하여 검토한 결과 만족한 것으로 나타남.

A-1. 장재원의 선정

6) 소재 조직검사 신뢰성 분석

Charge No	4-1225-8	5-0405-12
Lot No	S40915	S500988
Ferrite	3%	2%
Peartite	97%	98%
Cementite	-%	-%

Review Results: Satisfactory Satisfactory

APML 0199,0200,0201, 0201에 사용된 Inner Piston 소재에 대하여 Micro Test 결과 Microstructure Rating Chart의 비교하여 분석한 결과 요구된 Spec(Pearlite 95% 이상)에 만족한 것으로 나타남으며 특별히 개선하여야 사항을 발견하지 못함.

A-1. 장재원의 선정

7) Inside Piston 재질 검토

Material	FCD 700
특 성	일반주철의 취약성을 줄이고 연성을 부가, 고주파 열처리로 내마모성을 향상시킨 구상흑연주철
Chemical Composition	C : Min 2.5 %
인장강도	Min 700 (N/mm ²)
항복강도	Min 420 (N/mm ²)
연신율	Min 3 %
Hardness(HB)	180-300

Inside Piston 소재로 사용되고 있는 FCD 700는 내마모성을 향상시킨 구상흑연주철로서 주조 과정에서 Ferrite (Bull's eye ring)가 많이 존재하면 고주파 경화시 장애가 발생되고 재료가 두꺼워지면 환공현상을 많이 생기므로 주조조건으로 Ferrite가 많이 석출되고 조직 내에 탄화물 (Cerolite, Chill, Ledeburite 등)이 경질상으로 석출되어 기계적성질은 나쁘게 하는 취약성이 있는 등 재질의 개선이 필요한 것으로 판단됨

A-2. 핵심인자 선정

장재인자

- 1 Inner Piston 설계개선
- 2 Outside Piston 설계개선
- 3 비파괴검사 Process
- 4 치수검사 Process
- 5 열처리 Process
- 6 자체 조직검사 안전성
- 7 Inner Piston재질변경

핵심인자도출

Pay off Matrix 분석

7	적용가능	중요성	1
1	적용가능	중요성	2
2	적용가능	중요성	3
3	적용가능	중요성	4
4	적용가능	중요성	5
5	적용가능	중요성	6
6	적용가능	중요성	7

핵심인자: 7 Inner Piston 재질변경, 1 Inner Piston 설계개선

핵심인자 도출을 위하여 Pay off Matrix 분석을 통하여 장재인자의 성과도 및 노력도 등 평가한 결과 Inner Piston 재질변경 및 Inner Piston 설계개선을 핵심인자로 선정함.

I-1. 개선안 도출

1) 핵심인자별 개선계획수립

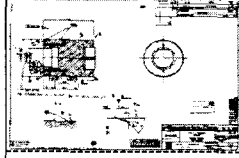
핵심인자	개선계획	일정	담당자	비고
Inner Piston 설계개선	동일Type 타사 Design 비교 분석	2005.08.29-09.10	한상호	I-2.1)
	Design Improve를 위한 대책방안	2005.08.29-09.10	김광중	I-2.2)
	Improved Design 검토 및 확정	2005.08.29-09.10	김광중	I-2.3)
Inner Piston 재질변경	Improved Design 실선 적용 및 유혹성 검증 (APML 0459 Cylinder 7-12 Test 적용)	2005.08.29-10.09	송승훈	I-3.1)
	동일Type 타사 적용 재질 파악 및 Scratch발생 여부 분석	2005.09.10-09.30	김중호	I-2.4)
	기존 기술 조직검사 검증	2005.09.10-09.30	한상호	I-2.5)
	대체 재질 선정 및 검토	2005.09.10-09.30	김신환	I-2.6)
	대체 재질 실선 적용 및 유혹성 검증 (APML 0202 적용)	2005.10.13-10.19	송승훈	I-3.2)

- 핵심인자에 대한 개선안 도출 및 유혹성 검증을 위하여 상기와 같이 부분별 담당자를 선정하여 대체 재질 및 Improved Design에 대하여 개선계획을 수립함.
- 핵심인자에 대한 유혹성은 실선 적용을 통한 검토로서 검증할 예정임.

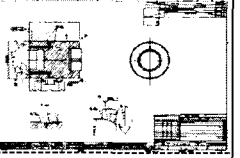
I-2. 개선안 평가

1) 동일Type 타사 Drawing 입수 및 비교 분석

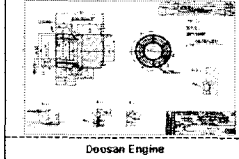
DU



HHI



Doosan Engine



RTF90C Type, 엔진주요제작사 (Doosan, HHI, DU)의 Inner Piston, Outside Piston, Damper의 적용 Drawing을 입수하여 설계개선 방안을 도출하기 위하여 비교 검토를 실시함.

I-2. 개선안 평가

1a) 동일Type 타사 Design 비교 분석 결과

구분	DOOSAN	HHI	DU
Inner Piston	Dwg No : 22-013473.0 제작시장은 동일하며, Damper슬롯부의 공차 및 조도 상이 - Doosan/ HHI : ± 0.016 / ± 0.016 조도 : Ra 1.6 - DU : ± 0.011 / ± 0.016 조도 : Ra 0.8	Dwg No : A22-164249-0.0	Dwg No : 0106-0573.0
	Dwg No : 2-107.344.550.b 제작시장은 동일하며, Inner Piston과 조립되는 내부 "R" 부위 상이 - Doosan/ HHI : R 2.5, - DU : R 2.5 - 3	Dwg No : 2-107.344.550.b	Dwg No : 0106-0571.2
Damper	Dwg No : 22-011662.4 제작시장은 도면 치수 및 공차 동일함	Dwg No : A22-155437-1.2	Dwg No : 0106-0566.2

- RTF90C Type, 엔진 주요제작사 (Doosan, HHI, DU)의 Inner Piston, Outside Piston, Damper의 적용 Drawing을 비교 검토 및 분석한 결과
- Damper 슬롯부의 공차 및 조도 상이, Inner Piston과 조립되는 내부 "R" 부위 상이 등 각 회사별 특정한 특정한 Design을 적용하고 있지만 3사 모두 Inner Piston에 Scratch가 발생되었으며
- Inner Piston Scratch발생을 방지하기 위하여 설계개선을 통한 Drawing변경이 필요한 것으로 나타남.

1-2. 개선안 평가

2) Design Improvement를 위한 대책 방안 수립

Spindle에 의한 개량시 회전운동과 왕복운동 동시 발생

Top

Bottom

Inside piston 상하 운동시 Tiltng 발생

✓ Scratch 발생 원인분석

- 1) 음원 부주에 의한 Scratch 발생
- 2) Inside piston 상하 운동시 Tiltng 발생으로 인한 Inside piston top과 bottom, 분체 Scratch 발생

✓ Scratch 발생 방지 Improved Design

- 1) Inside piston의 Oil groove 확대
- 2) Inside piston과 Outside piston Clearance 축소 (0.06-0.102 → 0.05-0.092)
- 3) Polished → Edge rounded

37

1-2. 개선안 평가

3) Improved Design 확경

Previous Design

Improved Design

✓ 상기와 같이 Scratch발생현상을 개선하기 위하여 Inside Piston의 Oil Groove 확대 (Aa → 7ea), Oil Groove형상 개선 등 설계개선을 추진하여 Drawing에 반영하여 관련조각에 배포 완료함 (2005.09. 05분류)

38

1-2. 개선안 평가

4) 동일Type 타사 적용 재질 파악 및 Scratch 발생여부 조사

구분	DOOSAN	HHI	DU	Remarks
수행 Project	APML 193,194,195 196,197,198 199,200,201	1570,1571 1630, CSBC 831	3411~647	Engine Type : RTF96C
Scratch 발생인수	9대	4대	1대	14대
적용 재질	FCD 700	FCD 700	FCD 700	동일 재질 사용

* : HHI에는 4대 제작 중 검사를 수행한 1대에 대하여 Scratch가 발생 되었으며 그 외 호본은 미 확인 상태 이나 Scratch가 발생된 것으로 예상됨.

** : 자료 제공 : 금용기계㈜ 품질보증팀

✓ RTF96C Type, 엔진 주요재질사 (Doosan, HHI, DU)의 Inner Piston 적용 재질은 당사의 동일한 FCD 700을 적용하고 있으며,

✓ Inner Piston Scratch 발생여부를 조사한 결과 대부분의 Inner Piston에 Scratch가 발생되었으며

✓ Inner Piston의 재질의 변경이 필요한 것으로 나타남.

39

1-2. 개선안 평가

5) 기존 재질 조직검사 검증

구분	상세 내용	비고
검증일자/장소	- 2005년 9월14일 / 금용기계㈜ 신역공장	
검증대상	- APML 0201 #12, - APML 0459 #5 (Scratch 발생 Piston)	본품
입회자	- WCH : Licensee Support & Production 담당원차장, Mr.Toby Rotach - 우선연진 : 품질관리팀 한상호 대리, 본차량개발 총장호 대리, 류승표 - 공용기계 : 품질보증팀 김규호 대리, 생산팀 주정섭 팀장, 배영환 사원	
검사항목	- FCD700 Graphite 구성량률 - Pearlitic Matrix Content (Spec : 95% 이상)	
검사조건	- 3 % Nital + 20 second 유지 (기준 : 5% Nital, 35~40초 유지)	
검사결과	- APML 0201 : Spec out (약 90 %) APML 0495 : Spec In (95% 이상) ▶ APML 0200/201의 경우 Inside piston의 조직 불량 판정 (전 Cylinder units Scratch 발생) ▶ APML 0459 #5 unit의 경우 기공 불량으로 추정됨. (#5 Cylinder)를 제외한 전 Cylinder 상태 양호	첨부 참조

Inner Piston의 자체건전성 및 Pearlitic Matrix Content 조직검사의 신뢰성을 검증하기 위하여 기 납품된 Inner Piston의 조직검사를 WCH, Doosan, 금용기계(주) 합동으로 입회 검사한 결과, 기존품의 APML 0200 / 0201의 경우 조직검사에서 오류로 해당Spec에 벗어난 것으로 확인되었으며

APML 0459의 경우 Pearlitic Matrix Content 95% 이상으로 판정되고 Scratch가 발생되지 않았으나 Scratch발생을 발견 재가하고 무결점 품질 확보를 위하여 내구성이 높은 재질로 변경이 요구됨.

40

1-2. 개선안 평가

5a) 현미경 조직검사 Process 검토

APML 0201, #12

APML 0459, #5

표면 Etching

금속현미경 촬영

✓ Inner Piston의 자체건전성 및 Pearlitic Matrix Content 조직검사의 신뢰성을 검증하기 위하여 표면 Etching, 금속 현미경 검사를 실시함(2005.09.14 완료)

41

1-2. 개선안 평가

5b) 현미경 조직 검사 결과 검토

APML 0459-5

APML 0201-12

분실량 (1.0) 및 3% 부식시간 :20초

분실량 (1.0) 및 3% 부식시간 :20초

분실량 (1.0) 및 3% 부식시간 :20초

분실량 (1.0) 및 3% 부식시간 :20초

✓ Inner Piston의 자체건전성 및 Pearlitic Matrix Content 조직검사의 신뢰성을 검증하기 위하여 표면 Etching, 금속 현미경 검사를 실시함(2005.09.14 완료)

42

1-2. 개선안 평가

6) Inside Piston 대체 재질 선정 및 검토

Material	FCD 700 / Previous Material	SKD 61 / Improved Material
특성	일반주철의 취약성을 줄이고 연성을 높임, 고주파 용차리로 내마모성을 향상시킨 구상흑연주철	고온강도, 인성의 균열이 우수하며 용차림이 양호하여 열처리 변형이 적은 합금 공구강
Chemical Composition	C : Min 2.5 %	C : 3.2~0.42, Si : 0.8~1.2 Cr : 4.5~5.5, Mo : 1.0~1.5 V : 0.8~1.2
인장강도	Min 700 (N/mm ²)	Min 1,200 ~ 1,400 (N/mm ²)
항복강도	Min 420 (N/mm ²)	N/A
연신율	Min 3 %	N/A
Hardness(HB)	180~300	표화 강도(HV) : 900 ~ 1,000

✓ Inside Piston 소재로 사용되고 있는 FCD 700는 기계적성능은 나쁘게 하는 취약성이 있음.
 ✓ 고온강도 및 인성의 균형이 우수하고 열처리 변형이 적은 합금 공구강 SKD 61로 재질을 변경하여 Inner Piston Scratch 방지

1-3. 개선안 실행 및 유효성 검증

1) Improved Design 실행 적용 및 유효성 검증

구분	상세 내용
공 사 명	APML 0459 (NL-1605)
검증일자	Official Shop Test : 2005.08.26 / Overhaul Inspection : 2005.08.29
업 회 지	- WCH : Mr. Munk, 윤종식 과장 - 두산엔진 : 품질보증팀 송승훈 대리, 엔진기술팀 류승표 사원
검사항목	Inner Piston Scratch 발생 여부
검사조건	After 110% Load, 1/2 Hours, 75,504 Kw, 105.3 RPM

Previous Design

Improved Design

✓ Inside Piston 설계 개선 사항의 유효성을 검증하기 위하여 APML 0459(NL-1605) Cylinder No 1-6에 개선된 설계를 반영한 Inner Piston을 장착하여 Official Shop Test 실시 후 Overhaul Inspection을 통하여 Scratch 발생 여부를 조사함
 * Overhaul Inspection 결과 : 2부(2a) ~ 2f), 3) 참조

1-3. 개선안 실행 및 유효성 검증

2a) Overhaul Inspection Result (Cylinder No 1)

Inspection Results: Satisfactory : has not occurred Scratch

1-3. 개선안 실행 및 유효성 검증

2b) Overhaul Inspection Result (Cylinder No 2)

Inspection Result: Satisfactory : Light scratch on Inner piston side

1-3. 개선안 실행 및 유효성 검증

2c) Overhaul Inspection Result (Cylinder No 3)

Inspection Result: Satisfactory : Light scratch on Inner piston side

1-3. 개선안 실행 및 유효성 검증

2d) Overhaul Inspection Result (Cylinder No 4)

Inspection Result: Satisfactory : Light scratch on Inner piston side

I-3. 개선안 실행 및 유효성 검증

2e) Overhaul Inspection Result (Cylinder No 5)

Inspection Result: Unsatisfactory : outside piston at inside heavy scratch & inner Piston heavy scratch

49

I-3. 개선안 실행 및 유효성 검증

2f) Overhaul Inspection Result (Cylinder No 5)

Inspection Result: Unsatisfactory : Top side the small part fall off

50

I-3. 개선안 실행 및 유효성 검증

2g) Overhaul Inspection Result (Cylinder No 6)

Inspection Result: Satisfactory : Contact mark only

51

I-3. 개선안 실행 및 유효성 검증

3) 설계변경사항 유효성 검증

구분	상세 내용		
공사명	APML 0459 (NL-1576)		
검증일자	Official Shop Test : 2005.08.26 / Overhaul Inspection : 2005.08.29		
검사조건	After 110% Load, 1/2 Hours, 75,504 Kw, 105,3 RPM		
검사결과 Summary	Cyl. No	Inspection Results	Description
	# 1	Satisfactory	Not scratched
	# 2	Satisfactory	Light scratch on inner piston top side
	# 3	Satisfactory	Light scratch on inner piston top side
	# 4	Satisfactory	Light scratch on inner piston top side
	# 5	Unsatisfactory	Scratched : Out side piston at inside heavy scratch, inner piston heavy scratch, top side the small part fall off
# 6	Satisfactory	Contact Mark only	

Remarks: I-3 2a), I-3 2b), I-3 2c), I-3 2d), I-3 2e), I-3 2f), I-3 2g)

- Inside Piston 설계 개선 사항의 유효성을 검증하기 위하여 APML 0459(NL-1605) Cylinder No 1~6에 개선된 설계를 반영한 Inner Piston을 장착하여 Official Shop Test 후 Overhaul Inspection을 통하여 Scratch 발생 여부를 조사한 결과
- 일부 light scratch가 발생되었고 또한 Cylinder #5에 Heavy Scratch가 발생되었으나, Inner Piston Top side 부위에 가공불량으로 인한 Particle유입에 의한 scratch발생으로 추정되며 개선된 설계는 Scratch 발생을 방지할 수 있는 것으로 입증되었음.

52

I-3. 개선안 실행 및 유효성 검증

4) 대체 재질 시험 적용 및 유효성 검증

구분	상세 내용	
공사명	APML 0202 (NL-1576)	
검증일자	Official Shop Test : 2005.10.10 / Overhaul Inspection : 2005.10.12	
참여자	- WCH : Mr. Munk, 윤중식 과장 - 두산엔진 : 품질보증팀 임재관 대리, 엔지니어팀 류승표 사원	
검사항목	Inner Piston Scratch 발생 여부	
검사조건	After 110% Load, 1/2 Hours, 75,504 Kw, 105.3 RPM	
개선전후 비교	Previous Material	Improved Material
	FCD 400 구상흑연주철	SKD 61 합금 공구강

Inspection Result: Satisfactory

- Inside Piston 재질변경 개선 사항의 유효성을 검증하기 위하여 APML 0202에 개선된 대체 재질을 반영한 Inner Piston을 장착하여 Official Shop Test 실시 후 Overhaul Inspection을 통하여 Scratch 발생 여부를 조사함
- Overhaul Inspection 결과 : 첨부 1~3 5a), 5b), 5c), 5d), 5e) 참조

53

I-3. 개선안 실행 및 유효성 검증

5a) Overhaul Inspection Result

Inspection Result: Cylinder 1~6 Overhaul 검사결과 Scratch는 발생되지 않았으며 3번 Cylinder Inside Piston Top부위에 파단 현상이 발생됨. 또한 나머지 Inside Piston의 Top 부위에 일부 파단 현상이 발생됨 - 상세내용 1~3 5c) 참조

54

1-3. 개선안 실행 및 유효성 검증
5b) Overhaul Inspection Result

Inspection Result: Cylinder 7~12 Overhaul 검사결과 Scratch는 발생되지 않았으며 Inside Piston Top 부위에 피단 현상이 발생됨.

1-3. 개선안 실행 및 유효성 검증
5c) Overhaul Inspection Result (Cylinder No 3)

Inspection Result: Cylinder 3 Overhaul 검사결과 Scratch는 발생되지 않았으며 Inside Piston Top부위에 피단 현상이 발생됨.

1-3. 개선안 실행 및 유효성 검증
6) 재교번경시험 유효성 검증

구분	상세 내용					
공시명	APML 0202 (NL-1576)					
검증일자	Official Shop Test : 2005.10.10 / Overhaul Inspection : 2005.10.10					
검시조건	After 110% Load, % Hours, 75,504 Kw, 105.3 RPM					
검시결과 Summary	Cyl.	Scratch Insp.	Visual Insp.	Cyl.	Scratch Insp.	Visual Insp.
	# 1	Satisfactory	Top부위 Small Damage	# 7	Satisfactory	Top부위 Small Damage
	# 2	Satisfactory	Heavy Damage	# 8	Satisfactory	
	# 3	Satisfactory	Heavy Damage	# 9	Satisfactory	
	# 4	Satisfactory	Top부위 Small Damage	# 10	Satisfactory	
	# 5	Satisfactory	Top부위 Small Damage	# 11	Satisfactory	
	# 6	Satisfactory	Top부위 Small Damage	# 12	Satisfactory	

- Inside Piston의 재질변경 개선 시험의 유효성을 검증하기 위하여 APML 0202 Cylinder No 1~12 에 개선된 재질을 반영한 Inner Piston을 장착하여 Official Shop Test & Overhaul Inspection을 통하여 Scratch 발생 여부를 조사한 결과
- Inside Piston에 Top상면 부위에 일부 Damage가 발생되었지만 Inside Piston Sliding 부위에는 전혀 Scratch가 발생되지 않았으며 개선된 재질은 Scratch발생을 방지할 수 있는 것으로 입증됨
- Inside Piston의 유결점 목표달성을 위한 Top부위의 Heavy Damage방지를 위하여 기술적인 검토를 통한 도면변경 중 추가 개선할 사항 - 추가 조치내용 가) 참조

1-3. 개선안 실행 및 유효성 검증
7) Top 부위 Damage 방지용 위한 개선활동

구분	상세 내용	
발생	Inside Piston Top부위 Heavy Damage(Cylinder No 3) 발생	
현황	그외 Cylinder Small Damage 발생	
원인	Inside Piston 상면표면 재료불균일 때문에 생기는 진공 현상으로 Cavitation 문제가 발생되어 Damage가 발생됨	

- Inside Piston Top부위의 Damage방지를 위하여 기술 검토한 결과 Cavitation에 의해서 발생된 것으로 나타났으며 Cavitation방지를 위하여 새로운 디자인을 APML 2003에 적용하기로 함.
- 상기 개선된 도면을 실선 적용으로 유효성을 확인할 예정임 (예상일자 : 2005.11.25)

1-4. 개선 효과 파악

PJT.번호	TYPE	연교	공시일자	Cylinder	Scratch	발생률
APML0203	14RTF96C	AB	05.11.23	14	0	0
APML0480	12RTF96C	LR	05.11.28	12	0	0
CSAV0827	10RTF96C	LR	05.12.10	10	0	0
MSC4111	12RTF96C	GL	05.12.22	12	0	0
CSAV0828	10RTF96C	LR	06.01.27	10	0	0
APML3008	7RTF84T-D	LR	06.02.09	7	0	0
APML0204	14RTF96C	AB	06.02.21	14	0	0
HTG5282	8RTF88T-B	LR	06.03.17	8	0	0
APML0461	12RTF96C	LR	06.04.18	12	0	0
APML0205	14RTF96C	AB	06.05.10	14	0	0
HTG5283	8RTF88T-B	LR	06.06.07	8	0	0
APML3009	7RTF84T-D	LR	06.06.08	7	0	0
APML0206	14RTF96C	AB	06.07.06	14	0	0
APML0462	12RTF96C	LR	06.07.14	12	0	0
MSC4112	12RTF96C	GL	06.08.23	12	0	0
APML0207	14RTF96C	AB	06.09.05	14	0	0
APMR0174	10RTF96C	LR	06.09.18	10	0	0
APML0463	12RTF96C	LR	06.10.23	12	0	0
APML0208	14RTF96C	AB	06.10.31	14	0	0
APMR0175	10RTF96C	LR	06.11.07	10	0	0
APML3010	7RTF84T-D	LR	06.12.20	7	0	0
APML4117	12RTF96C	LR	06.12.22	12	0	0
APMR0182	10RTF96C	LR	06.12.23	10	0	0
Total				238	251	0

Inside Piston Scratch 방지 활동으로 추후 재작 예정인 RT Flex 엔진의 예상효과 분석 결과 238대 251 Cylinders에 무결점 발생이 가능할 것으로 예상됨.

1-5. 공정 능력 파악

Product/Defects	Unit	Opt	Total Opt	DPU	DPO	DPMO	SNR	Long Term Capability	Sigma	
D	U	OP	TOP	DPU	DPO	DPMO	SNR	Sigma	Z-R	
6 RT Flux	0	2	6	12	0.0000	0.000000	0	1.5	1.50	3.00
7 RT Flux	0	3	7	21	0.0000	0.000000	0	2.5	1.85	4.35
10 RT Flux	0	3	10	50	0.0000	0.000000	0	1.5	2.20	3.70
12 RT Flux	0	7	12	84	0.0000	0.000000	0	1.5	2.40	3.90
14 RT Flux	0	6	14	84	0.0000	0.000000	0	1.5	2.40	3.90
Grand Total	0		251		0.000000		0	1.5	2.78	4.28

Input Fields: D (Total Number of Defects), U (Total Number of Units), OP (Number of Opportunities), SNR (Sigma Shift (Default: 1.5))

Calculated Fields: TOP (U*OP), DPU (D/U), DPO (D/OP), DPMO (D/OP/Unit)

예상 공정능력을 파악한 결과 공시 대수 238대 251 Cylinder에 대하여 Inside Piston Scratch 발생 방지도 불량률 0%, 4.28σ가 달성 가능할 것으로 예상됨.

C-1. 관리 계획

1) Inside Piston scratch 방지를 위한 관리계획서

관리항목	관리 유지 방안	점검방법	점검 시기	점검자
Inside Piston Top부위 Damage 방지 New Design 검증	<ul style="list-style-type: none"> 유도성 특인을 위한 실선 적용(AFM 0233) 및 공시 후 Overhaul 검사 실시 Cavitation 발생 문제 해결 여부 조사 	Overhaul Inspection 실시	2006. 11. 23 ~ 11. 30	송승훈, 김광호
개선된 도면 적용	<ul style="list-style-type: none"> 공시 착수시 개선된 도면이 적용되고 있는가? 	적용호선별 점검 목록	해당공사 착수시	한상호
개선된 재질 적용	<ul style="list-style-type: none"> 공시 착수시 개선된 재질이 반영된 각종 기술문서를 사용하고 있는가? 	적용호선별 점검 목록	해당공사 착수시	한상호
Inside Piston 제작업체 도면교수	<ul style="list-style-type: none"> Inside Piston 제작시 개선된 도면 및 재질에 따라 제작되고 있으며 관련요건에 따라 검사를 하고 있는가? 	적용호선별 점검 목록	협력사 품질검사시	한상호
Scratch 발생현황 조사 및 분석	<ul style="list-style-type: none"> Shop Test 후 Overhaul Inspection 시 Inside Piston Scratch 발생여부조사 미세한 Scratch가 성장 가능성이 있는지 분석하고 있는가? 	적용호선별 점검 목록 p관리도	- Overhaul Inspection 시 - 매월 말	송승훈 (공시담당자) 김신은, 김광호

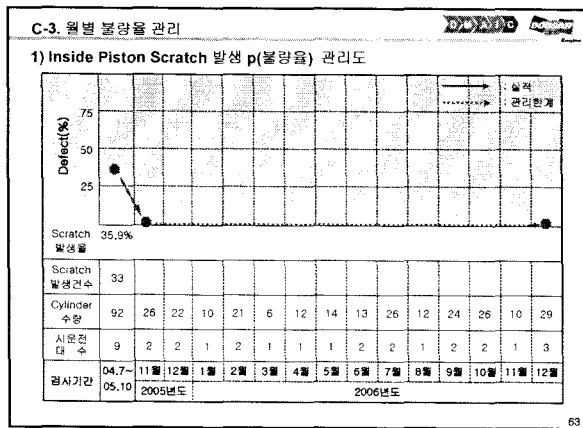
개선된 사항이 지속적으로 유지 관리하고 Inside Piston scratch 방지를 위하여 상기와 같이 3개 부문에 대하여 점검지를 선정하여 해당공사 착수 시 및 Overhaul 검사시 해당 사항을 점검하여 무결점 품질을 확보할 예정이다

C-2. 적용 호선별 점검 목록

Inside Piston scratch 방지 점검 목록

PLM종	TYPE	호선	공시 적용일	Cylinder 수량	점검도면 적용여부	재질개선 적용여부	적용호선 준수여부	점검일자	Scratch 발생수	발생률 (%)	담당자
APM0203	14RT96C	AB	05.11.23	14							송승훈
APM0460	12RT96C	LR	05.11.26	12							김광호
C3AV0927	10RT96C	LR	05.12.10	10							김광호
MASC4111	12RT96C	GL	05.12.22	12							김광호
C3AV0928	10RT96C	LR	05.12.23	20							송승훈
APM0308	7RT96T-D	LR	05.02.09								송승훈
APM0204	14RT96C	AB	06.02.21	14							송승훈
DTG5492	8RT96T-D	LR	06.03.17	8							김광호
APM0461	12RT96C	LR	06.04.15	12							김광호
APM0205	14RT96C	AB	06.06.10	14							송승훈
DTG5383	8RT96T-D	LR	06.06.02	8							김광호
APM0309	7RT96T-D	LR	06.06.08	7							송승훈
APM0206	14RT96C	AB	06.07.06	14							송승훈
APM0462	12RT96C	LR	06.07.14	12							김광호
MASC4112	12RT96C	GL	06.08.23	12							김광호
APM0207	14RT96C	AB	06.08.05	14							송승훈
APM0174	10RT96C	LR	06.08.16	10							송승훈
APM0463	12RT96C	LR	06.10.23	12							송승훈
APM0208	14RT96C	AB	06.10.31	14							송승훈
APM0175	10RT96C	LR	06.11.07	10							송승훈
APM0310	7RT96T-D	LR	06.12.20	7							송승훈
APM0417	12RT96C	LR	06.12.22	12							김광호
APM0192	10RT96C	LR	06.12.23	10							김광호
합계				231							김광호

Inside Piston Scratch 방지 활동의 지속적 개선 및 유지를 위하여 상기와 같은 점검목록을 사용하여 RT Flex 엔진 공시 착수 시 및 Overhaul 검사 시 상기항목에 대하여 점검을 실시하여 유도성 및 이상상태를 점검할 예정이다.



Inside Piston 추진 팀원 소개

Champion 송승훈 (팀장)
Master GB 김광호 (팀원)
Ace Black Belt 김신은 (팀원)

Team Leader 송승훈

GB 김신은 (팀원)
GB 김광호 (팀원)
GB 김광호 (팀원)
GB 김광호 (팀원)

Inside Piston Scratch 방지 Six Sigma 활동에 수고 많았습니다.